

COMMITTENTE:



RETE FERROVIARIA ITALIANA S.p.A.

DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI BOLOGNA

PROGETTAZIONE:



VIA INGEGNERIA S.R.L.
Via Flaminia Vecchia, 999
00189 Roma (RM) Italia
Tel.: +39 06 3327441 - Fax: +39 06 33219798
Email: via@via.it



Innovazioni territoriali e ricerche ambientali

INTERA S.R.L.
Viale Castrense, 8
00139 Roma (RM) Italia
Tel.: +39 06 70613211 - Fax: +39 0670399382
Email: segreteria@interasrl.it

A.A.SOGGETTO TECNICO: S.O. INGEGNERIA - DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE BOLOGNA

PROGETTO DEFINITIVO

Linea di Cintura di Bologna
Ponte sul fiume Reno al Km 8+383
Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento

Elaborati Generali

SCALA

-

Relazione di calcolo strutturale

Foglio

1

di

1

PROGETTO/ANNO

SOTTOPR.

LIVELLO

NOME DOC.

PROGR.OP.

FASE FUNZ.
NO SISTEMA

NUMERAZ.

1 8 2 4 1 7

I 0 1

P D

T G - -

1 5

0 1

E 0 0 4

Revis.	Descrizione	Progettista	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Prima emissione	M. DI Girolamo	08/11/2019	C. Minoli	08/11/2019	M. Uccellatori	08/11/2019	E. Lolli	08/11/2019
		-		-		-		-	
B	Revisione	M. DI Girolamo	03/03/2020	C. Minoli	03/03/2020	M. Uccellatori	03/03/2020	E. Lolli	03/03/2020
		-		-		-		-	
C	Revisione	M. DI Girolamo	24/09/2021	C. Minoli	24/09/2021	M. Uccellatori	24/09/2021	E. Lolli	24/09/2021
		-		-		-		-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-		-		-		-	

POSIZIONE
ARCHIVIO

LINEA

L 1 0 1

SEDE TECN.


T R 4 2 3 7

NOME DOC.

T G - -


NUMERAZ.

Verificato e trasmesso	Data	Convalidato	Data	Archiviato	Data


	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

I N D I C E

I N D I C E	1
1. PREMESSA	3
2. INQUADRAMENTO GENERALE	5
2.1 Linea ferroviaria	5
2.2 Ubicazione	6
3. INQUADRAMENTO SISMICO	8
3.1 Caratteri macrosismici	8
4. DESCRIZIONE DELLE OPERE	14
4.1 Caratteristiche evolutive dell'alveo	14
4.2 La nuova soglia in c.a. a protezione del ponte	16
5. NORMATIVA	20
6. CARATTERISTICHE DEI CALCESTRUZZI AI FINI DELLA DURABILITA'	21
6.1 Conglomerato cementizio:	21
7. MATERIALI	22
7.1 Verifiche allo Stato limite di apertura delle fessure	23
7.2 Acciai	24
8. PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO	25
8.1 Stratigrafia e parametri di progetto	25
9. ANALISI DEI CARICHI	27
9.1 Azioni permanenti	27
Pesi propri	27
Carichi permanenti portati	27

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

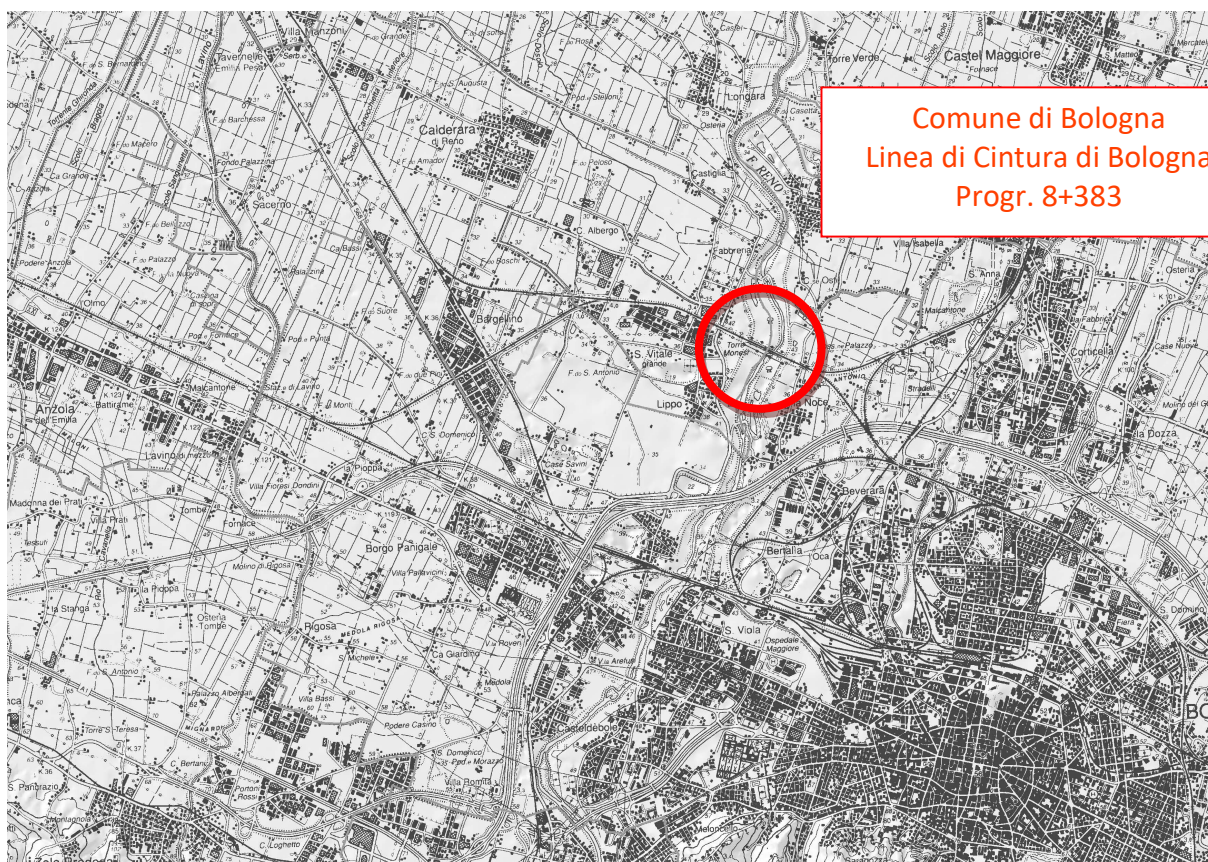
Spinta idraulica	27	
9.2 Azioni variabili		28
9.3 Azione sismica		28
9.4 Combinazione delle azioni		28
Coefficienti parziali	29	
10. MODELLO DI CALCOLO		30
10.1 Metodologia di calcolo		30
Modelli di calcolo	30	
11. VERIFICHE STRUTTURALI		32
Confronto tra i due casi limite	32	
Verifiche strutturali della soletta nervata – sp 60 cm	36	
Travi longitudinali di monte e di valle – 100x190 cm	46	
Trave longitudinale centrale – 100x190 cm	51	
Travi trasversali – 100x150 cm	56	
12. VERIFICHE GEOTECNICHE PALI DI MEDIO DIAMETRO		63
Sollecitazioni assiali agenti sui pali	63	
Stima della capacità portante verticale dei pali di medio diametro DN600	64	
Momento resistente SLU pali di medio diametro DN600	65	
Stima della capacità portante orizzontale dei pali di medio diametro DN600	66	
Cedimenti dei pali di medio diametro DN600	68	
13. VERIFICA AL SIFONAMENTO		72
13.1 Metodi di analisi		72
13.2 Domini di analisi e condizioni al contorno		72
13.3 Risultati		75


	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

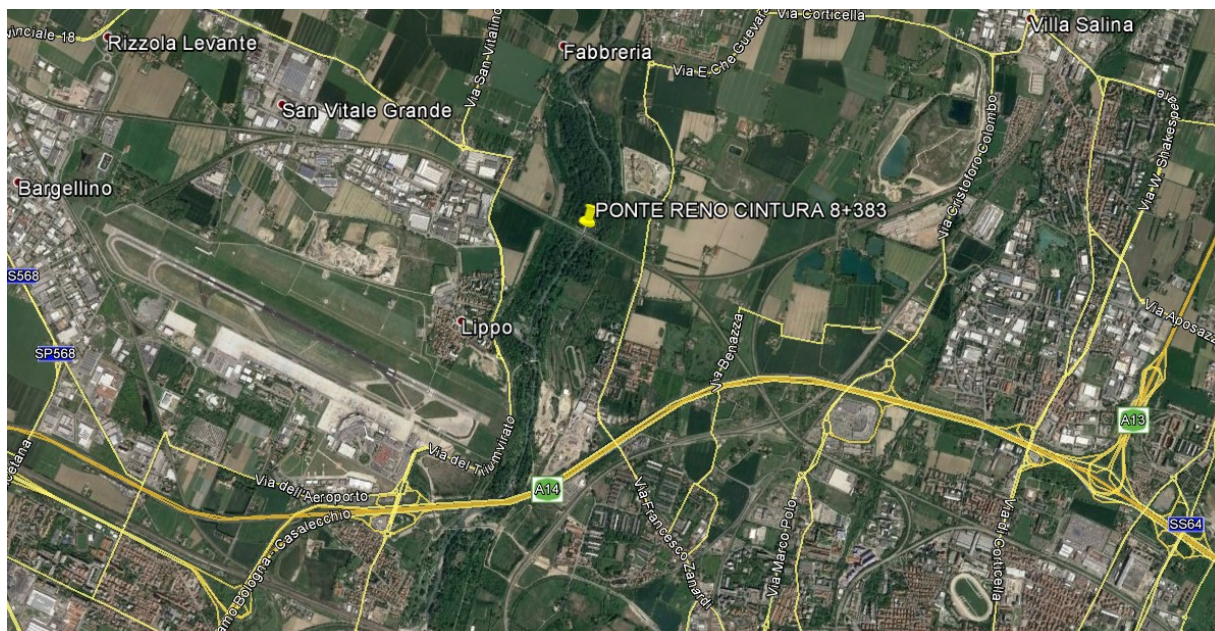
1. PREMESSA


Nell'ambito del progetto di messa in sicurezza del ponte ferroviario sul Fiume Reno, alla progressiva 8+383 della Linea di Cintura di Bologna, si inserisce il progetto degli interventi di risagomatura dell'alveo e la realizzazione della soglia in c.a.

La presente relazione riguarda il progetto definitivo di tali interventi.



	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
	Oggetto: Relazione di Calcolo Strutturale	AS



	<p align="center"><i>Linea di Cintura di Bologna</i> <i>Ponte sul fiume Reno al Km 8+383</i> <i>Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento</i> INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	<i>Relazione di Calcolo Strutturale</i>	AS

2. INQUADRAMENTO GENERALE


2.1 Linea ferroviaria

Con l'incremento di traffico raggiunto quando le principali città (Milano, Verona, Padova, Ancona e Firenze) furono definitivamente collegate, Bologna Centrale doveva incanalare tutto il traffico nord – sud relativo a Rimini e farlo transitare utilizzando i soli cinque binari presenti. Inoltre i treni viaggiatori e merci diretti e provenienti da Firenze, e che venivano instradati sulla linea Porrettana, dovevano sostare a Bologna Centrale per il cambio della locomotiva. Bologna Centrale ben presto si saturò.

Alcuni interventi, attorno al 1925, migliorarono la situazione: fu attivato Bivio Lavino e si poté smistare il traffico merci Milano - Firenze direttamente verso la Porrettana. Fu attivato lo scalo di smistamento di Bologna Ravone, a est della stazione, e la lavorazione dei treni merci poté essere spostata fuori dalla Centrale, infine il Bivio Battiferro smistava parte del traffico merci della linea Padova verso Bivio Ferrara e di qui a Ravone.

La Commissione Colombo, istituita nel 1902, alla conclusione dei lavori aveva permesso già nel 1908, con lo stanziamento di 150 milioni di lire, di gettare le basi per la costruzione della Direttissima Bologna - Prato. Come conseguenza, in assenza di ulteriori adeguamenti strutturali, tutto il traffico merci nord - sud sarebbe stato dirottato attraverso Bologna Centrale con le immaginabili conseguenze. Venne così deciso di approntare una linea di "Circonvallazione" che dalla stazione di Bologna San Ruffillo instradasse i treni attorno alla città fino allo Scalo di Ravone e che prevedesse una serie di bivi per smistare il traffico verso le preesistenti linee. Curiosamente, forse per motivi orografici, non fu prevista una diramazione verso la linea di Rimini ma solo verso Padova, Verona e Milano.

La Direttissima venne inaugurata il 21 aprile 1934. Nello stesso anno la Cintura cominciava a mostrare la forma che diverrà pressoché definitiva nel 1941.

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

2.2 Ubicazione

L'area in esame è localizzata a nord-ovest della città di Bologna, nell'ambito del settore sud-orientale della pianura padana ed in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario del Fiume Reno.




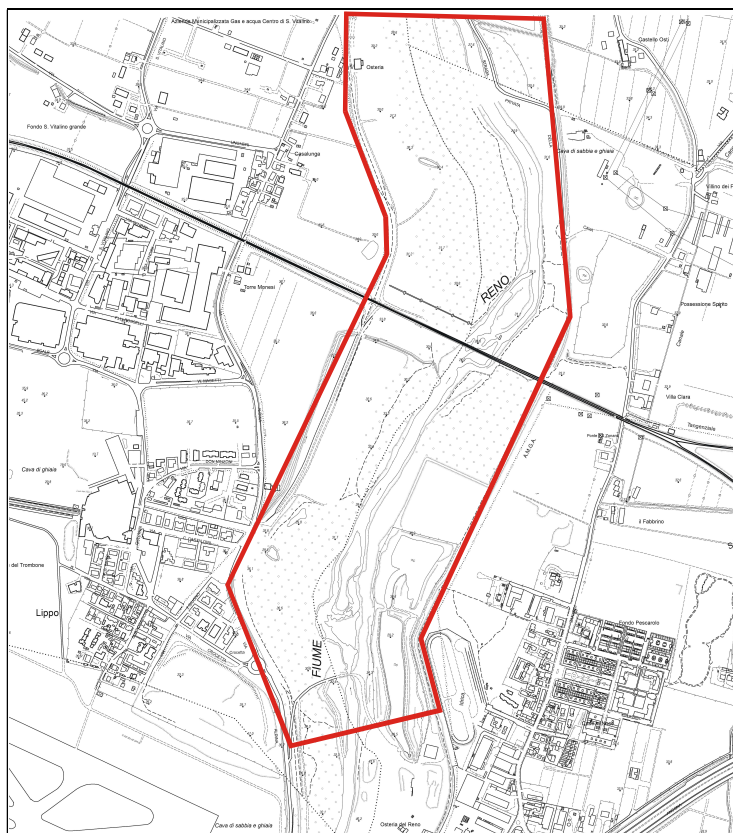
Ubicazione area in esame

Dal punto di vista della evoluzione geomorfologica l'area in esame si trova entro la zona di influenza dei corsi d'acqua di origine appenninica che hanno dato origine alla pianura padana e dei settori prossimi alla costa, con sviluppo di ambienti fluviali-palustri-lacustri lagunari e deltaici.

Più precisamente si fa riferimento al bacino del Fiume Reno, il cui attraversamento ferroviario si realizza con un ponte in muratura con 17 pile e 2 spalle.


Il sito è pertanto localizzato nell'ambito di una morfologia sub-pianeggiante e quote intorno a 32-34 m slm, con larghezza del fiume di circa 500 metri.

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS



Morfologia dell'area (CTR 220081)

Il fiume Reno in questo settore si sviluppa in un alveo soreelevato (quota 32-34 m slm), delimitato da argini con quote intorno a 38-39 m slm, a fronte delle aree pianeggianti circostanti intorno a 28-30 m slm.

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

3. INQUADRAMENTO SISMICO


3.1 Caratteri macrosismici

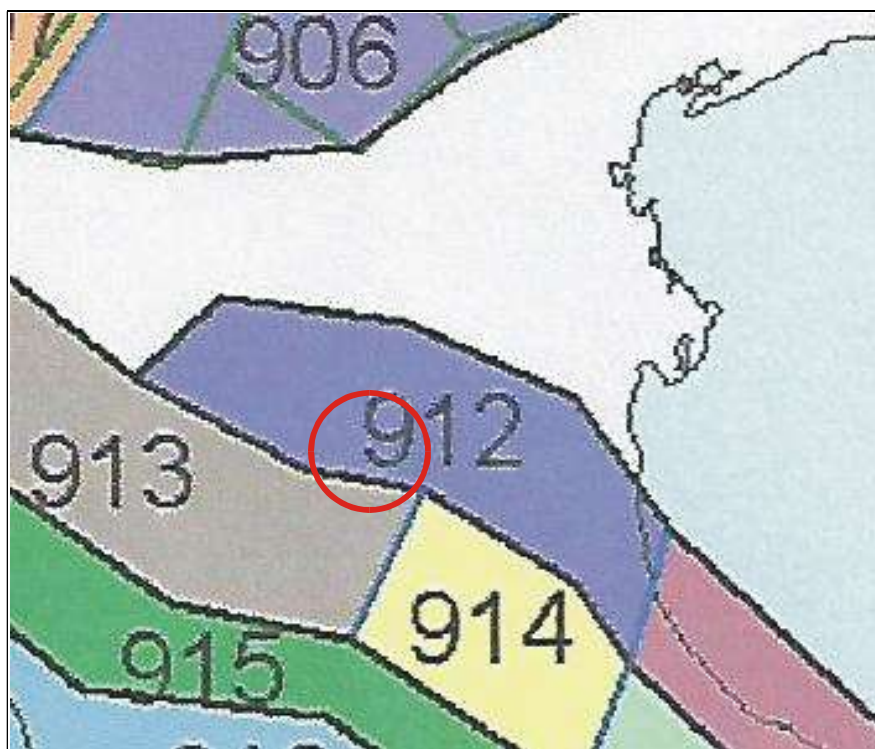
In base all' Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, aggiornata con la Deliberazione della Giunta Regionale n.1435 del 21 luglio 2003 e successivamente con la n.1164 del 23 luglio 2018, il comune di Bologna (ove è localizzato il Ponte sul Reno al Km 8+383) appartiene alla Zona Sismica 3, caratterizzata da accelerazione sismica al suolo $PGA = a/g = 0,15$ (PGA – Peak Ground Acceleration), come da tabella seguente:

Zona sismica	Descrizione	accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni [ag]	accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [ag]
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	$0,05 < a_g \leq 0,15 \text{ g}$	0,15 g

Un'ulteriore verifica dei caratteri macrosismici dell'area può essere ricercata in un lavoro del GNDT (2004) che suddivide l'Italia in Zone Sismogenetiche (ZS9), basate su dati geologico-strutturali, tettonici e della sismicità storica; si fa qui riferimento alla zonazione ZS9 che ha rivisto la precedente edizione ZS4 (1999).

In base a tali dati il sito in esame ricade nel settore meridionale della zona sismogenetica 912, poco a nord della ZS 913.

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS




Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV, 2004)

La Zona sismica 912 è rappresentativa della porzione più esterna della fascia di compressione dell'arco appenninico settentrionale; si riportano qui di seguito le caratteristiche sismo-genetiche della zona 912

nome ZS	Zona	Tettonica - meccanismo di fagliazione prevalente	Profondità ipocentro - Km	Magnitudo max - Mw	Magnitudo max freq - Mw
Dorsale ferrarese	912	faglia inversa	5-8	5,91	4,76

La magnitudo Mw=5,91 è quella massima segnalata, mentre il valore di Mw = 4,76 è quella massima con maggior frequenza di segnalazioni.

In questa sede le condizioni sismiche locali dell'area in esame sono verificate secondo quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018) emanato il 17/1/2018, che prevede sostanzialmente le seguenti l'individuazione dei seguenti elementi relativi alla risposta sismica locale:

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

- Valutazione del fattore di amplificazione stratigrafica (**S_s**);
- Valutazione del fattore di amplificazione topografico (**S_T**);
- Valutazione del rischio di liquefazione dei terreni


A) Amplificazione Stratigrafica

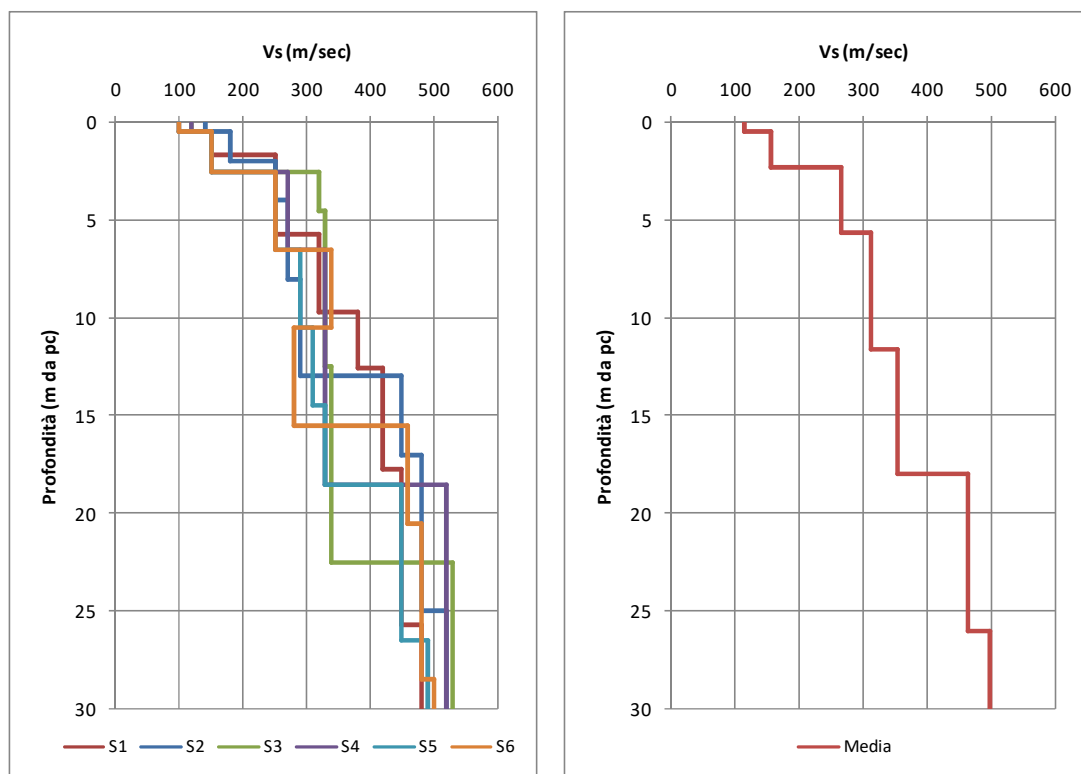
Per la valutazione dell'amplificazione stratigrafica le nuove norme sismiche suddividono i diversi terreni in 5 Categorie di Sottosuolo, in relazione alla risposta sismica locale, come qui di seguito riportato:

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Non essendo presente un bed-rock rigido con $V_s > 800$ m/sec entro i primi 30 m, si valuta il valore V_{s30} , in base ai risultati delle prove DOWN-HOLE e HVSR.

La figura seguente mostra l'andamento delle velocità delle onde di taglio V_s nelle 6 prove sismiche eseguite in corrispondenza dei 6 sondaggi geognostici ed il valore medio delle V_s .

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS




Andamento dei valori di Vs nei vari sondaggi e valore medio di Vs

Tali andamenti sono omogenei lungo tutto il tratto del ponte sul Fiume Reno e rilevano valori del parametro $Vs_{30} = 273\text{--}303$ m/sec, a cui corrisponde una **Categoria di Sottosuolo C**.

B) Amplificazione Topografica

In base alla situazione topografica le norme vigenti individuano 4 condizioni con relativi valori del Coefficiente di Amplificazione Topografica S_T :

CATEGORIA TOPOGRAFICA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA	COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA - S_T
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi con inclinazione media $i < 15^\circ$	1,0
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1,2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione $15^\circ < i < 30^\circ$	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione $i > 30^\circ$	1,4

	<p align="center"> Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO </p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

Nel caso in esame sono presenti morfologie con **pendenze inferiori a 15°** e pertanto si può assumere una Categoria Topografica T1, con **Coefficiente di Amplificazione Topografica $St = 1,0$** .

C) Liquefazione dei terreni


Problematiche relative al rischio di liquefazione dei terreni sono possibili in presenza di strati sabbiosi fini, in falda ed a profondità inferiori a 15-20 m dal p.c..

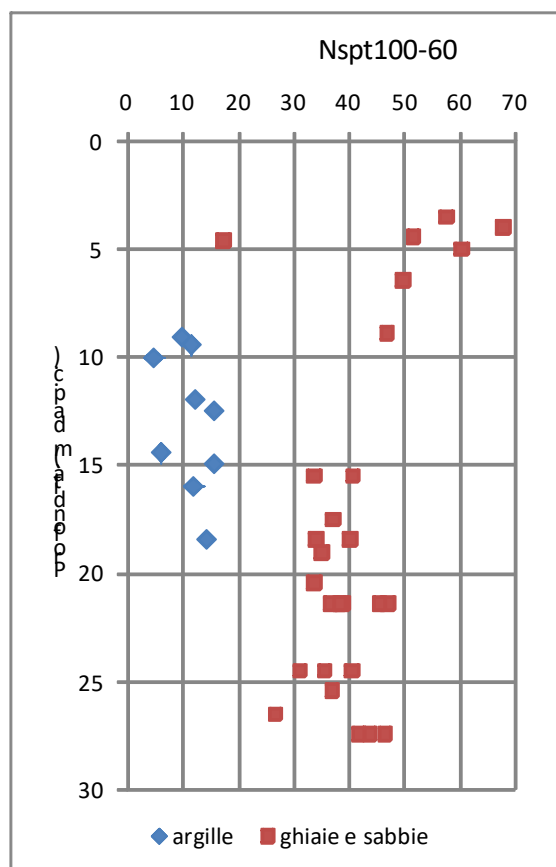
Nelle norme NTC-2018 si afferma che la probabilità che nei terreni sabbiosi si verifichino fenomeni di liquefazione è bassa o nulla se si verifica almeno una delle seguenti condizioni:

- Accelerazione massima in superficie in condizione free-field minore di 0,1g
- Accelerazione massima in superficie in condizione free-field minore di 0,15g e terreni con caratteristiche ricadenti in una delle tre seguenti categorie
 - Frazione fine CF superiore al 20% con $IP > 10$
 - $CF > 35\%$ e resistenza $N_{60} > 20$
 - $CF < 5\%$ e resistenza $N_{60} > 25$
- Distribuzione granulometrica alle zone del fuso di probabile liquefazione
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna

Fra le suddette condizioni non risulterebbe confermata quella riguardante l'accelerazione *free field* ($a_g > 0,1 = 0,15$), mentre sono presenti le condizioni di esclusione dal rischio liquefazione con riferimento agli aspetti granulometrici e di resistenza penetrometrica.


Infatti, escludendo le unità limo-argillose, nei terreni granulari sono presenti percentuali di argilla $CF < 16\%$, con $IP < 13$ e soprattutto si sono misurati valori penetrometrici corretti $N_{60t} > 30$.

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS



Valori penetrometrici N60 delle unità ghiaiose-sabbiose

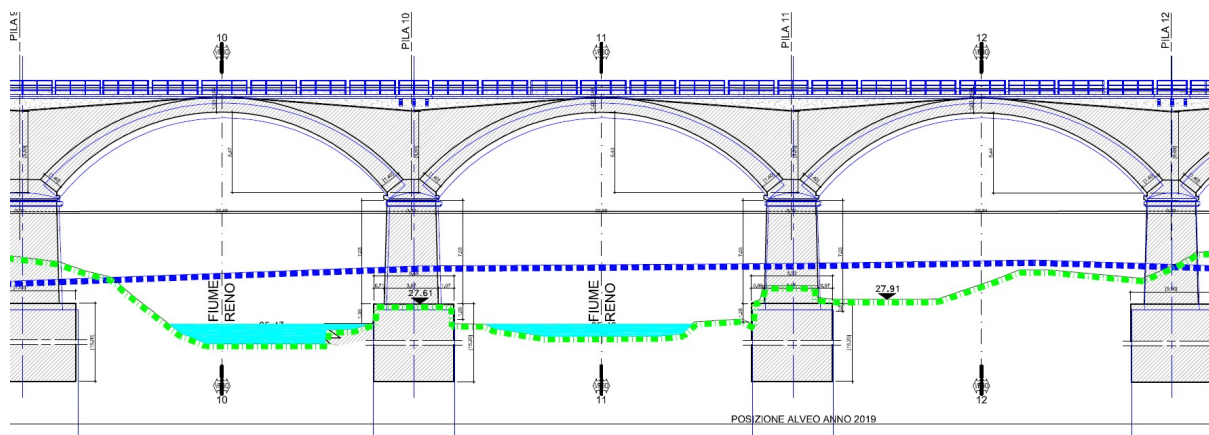
Pertanto viene **esclusa la potenzialità alla liquefazione dei terreni** granulari.

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

4. DESCRIZIONE DELLE OPERE

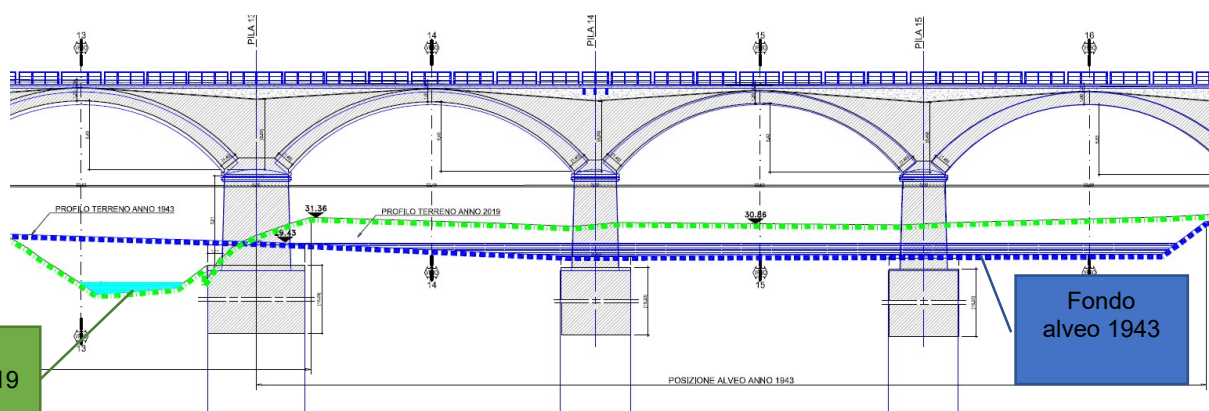
4.1 Caratteristiche evolutive dell'alveo

Per quanto attiene gli aspetti evolutivi del profilo longitudinale del fiume Reno alcune informazioni importanti emergono dal confronto dei rilievi dell'alveo all'atto della costruzione del ponte, con i rilievi effettuati nel corso del 2019 per la progettazione degli interventi antierosione. Nella figura seguente è rappresentata per la porzione di alveo tra le pile 9 e 12 con il colore blu il profilo della sezione rilevata nel 1943 e con il colore verde la situazione attuale. La differenza di livello è di circa 5 metri a testimonianza della profonda erosione operata dal corso d'acqua nel corso del periodo in esame.




Confronto sezione rilievo 1943 -2019-Pile 9-12

Come si evince dalla sovrapposizione dei rilievi, l'alveo nella sezione di interesse ha subito un abbassamento di circa 5 metri.




Confronto sezione rilievo 1943 -2019 - Pile 13-16

	<p align="center"> Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO </p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

Dall'esame della porzione tra le pile 13 e 16 si rileva invece che l'alveo si è spostato verso il centro della sezione e la parte interessata dal deflusso costituisce oggi la golenia. Inoltre se si confronta la quota fondo nei due momenti si trova riscontro della fortissima erosione operata dal corso d'acqua.

A protezione da fenomeni di erosione localizzata sull'opera non sono presenti protezioni. Per questo si prevede la costruzione di una soglia in C.A. fondata su pali, di lunghezza **471 m** e larghezza trasversale di **20 m**. La soglia è provvista di una protezione a monte formata da una rampa in massi lapidei di lunghezza di 10 m circa. A valle della soglia sarà predisposto uno scivolo sempre in massi ciclopici con lunghezza in alveo di circa 15 m e zona piana di dissipazione di circa 10 m.

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

4.2 La nuova soglia in c.a. a protezione del ponte

Sulla base delle considerazioni di cui sopra si è stabilito di realizzare una soglia in cls a protezione delle fondazioni da estendersi lungo tutto il ponte per uno sviluppo complessivo di m 441.0. La decisione di proteggere l'intera sezione e non la sola zona interessata dall'alveo di magra scaturisce dal fatto che l'alveo di magra è fortemente vagante e si è spostato di circa 100 metri dalla sua posizione all'atto della costruzione.

In merito alla quota da assegnare alla soglia è stato svolto un approfondito studio di morfologia fluviale al fine di individuare quale fosse la quota ottimale della soglia che contemperasse le due esigenze:

- garantire la stabilità dell'opera d'arte e ripristinare la quota dell'alveo in corrispondenza di essa coerentemente con le quote presenti all'atto della costruzione;
- minimizzare gli effetti indotti dalla modifica della quota di fondo alveo sul trasporto solido da un lato e sul profilo di piena dall'altro.


La definizione della quota di estradosso della soglia, misurata in asse al ponte, nella zona compresa tra le pile 9 e 13 è stata analizzata per diverse configurazioni in modo da valutarne l'effetto sul profilo altimetrico del fondo alveo. La soglia nella direzione longitudinale è lunga 20 m e presenta una pendenza del 2% risultando a monte in una quota di estradosso di 0.15 m superiore e 0.15 m inferiore della quota di estradosso in asse al ponte rispettivamente nelle sezioni a monte e a valle del ponte.

Le configurazioni esaminate sono elencate in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

Configurazione	Quota estradosso soglia (asse ponte)	Scopertura dado di fondazione (pila 10)	Altezza dal fondo alveo
	m slm	m	m
a	28.15	-0.52	4.21
b	27.63	0	3.69
c	26.27	1.36	2.33

Alternative di progetto della soglia in corrispondenza del ponte.

Per ciascuna delle quote analizzate è stata effettuata la modellazione delle modifiche indotte sulle quote del fondo alveo a monte della soglia, sul trasporto solido e sui profili idrici della portata di piena al fine di individuare la soluzione ottimale.

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

Nello specifico questa è stata individuata nella “Configurazione C” che presenta una quota in asse al ponte pari a $Q = 26.27$ m.s.m.

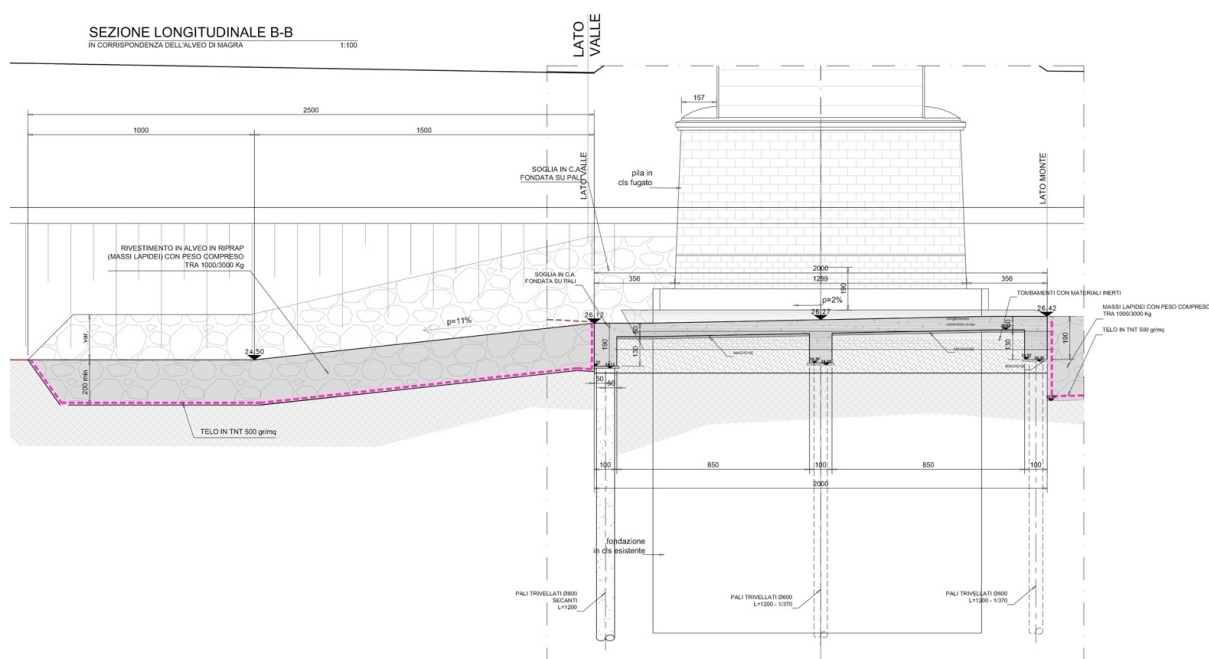
Le quote riportate in precedenza ($Q = 26.27$ msm) si riferiscono alla zona centrale tra le pile 9 e 13 nelle quali, allo stato attuale è contenuto l'alveo di magra e dove si verrà a configurare una sorta di gaveta.

Tra la spalla A e la pila 9 e tra la pila 13 e la spalla B la quota della soglia verrà rialzata in quanto ricade al di sotto della zona golenale che presenta quote del terreno naturale superiori portandola alla quota $Q = 28.65$ m.s.m.


Pertanto, esisteranno zone nelle quali per costruire la soglia occorrerà effettuare un rinterro anche piuttosto cospicuo, mentre altre, che interessano la zona golenale, per le quali la soglia risulterà a quote inferiori a quelle del terreno attuale.

In queste zone la soglia verrà interrata a seguito della costruzione e risulterà disponibile qualora l'alveo di magra subisca nuovamente spostamenti lungo la sezione.

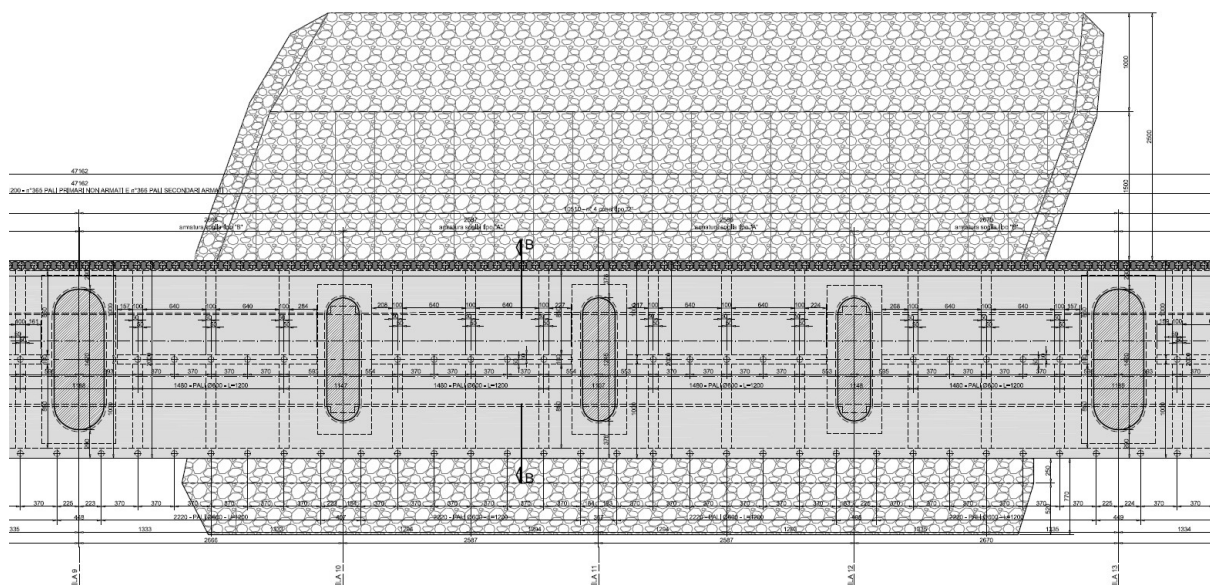
In merito alle specifiche analisi condotte si rimanda all'elaborato “Studio idraulico ed analisi del trasporto solido (182417-I01-PDTG15-09-E001).



Il dislivello complessivo che si viene a creare verso valle per effetto dell'innalzamento della quota di scorrimento, rispetto alla situazione attuale, è pari a 1.6 metri circa, dislivello che verrà raccordato con uno scivolo in pietrame di sviluppo pari a 15.0, con pendenza pari all'11%; a valle di esso è prevista una ulteriore area protetta di sviluppo pari a 10.0 metri. La

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

protezione e lo scivolo sono limitati alla parte centrale di alveo per uno sviluppo trasversale di circa 80 metri.




Scivolo di protezione in pietrame –Stralcio Planimetrico

Sotto il profilo strutturale la soglia è costituita da una soletta nervata di spessore pari a **0.6 m**, irrigidita da un graticcio di travi.

Le travi costituenti il graticcio in questione sono:

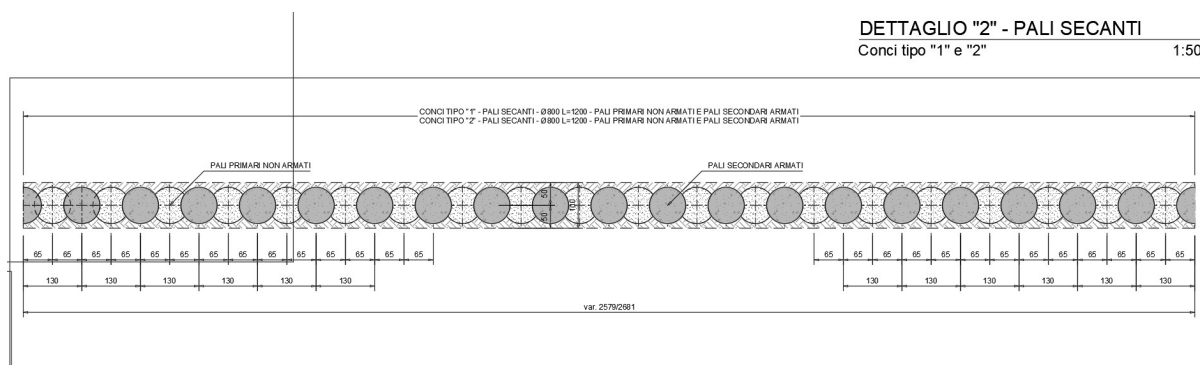
- trave longitudinale di monte di larghezza **1.0 m** e altezza complessiva **1.90 m**;
- trave longitudinale di valle di larghezza **1.0 m** e altezza complessiva **1.90 m**;
- trave longitudinale centrale di larghezza **1.0 m** e altezza complessiva **1.90 m**;
- travi trasversali di larghezza **1.0 m** e altezza complessiva **1.50 m**;

La fondazione della soglia è prevista su pali trivellati di medio diametro pari a **600 mm** per gli allineamenti di monte e centrale e pari a **800 mm** per quello di valle; l'interasse dei pali è pari a **3.7 m** per gli allineamenti di monte e centrale, mentre l'allineamento di valle è costituito da pali secanti (1 secondario armato e 1 primario non armato) al fine di costituire un taglione protettivo nei confronti dell'erosione regressiva che potesse istaurarsi in futuro ed al fine di eliminare possibili fenomeni di sifonamento al di sotto della soglia stessa.


	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

L'interasse tra i soli pali armati (secondari) è pari a **1.30 m**, l'interasse tra i soli pali non armati (primari) è pari a **1.30 m**; ne consegue che l'interasse dei pali secanti armati e non armati diviene **0.65 m**.

La lunghezza di tutti i pali è pari a **12 m** così da intestarsi per circa 2 metri all'interno dello strato di ghiaie.



Pali secanti su profilo di valle

	<p align="center"> Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO </p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

5. NORMATIVA


Tutti i calcoli riportati nella presente relazione sono stati eseguiti nel rispetto della seguente normativa vigente:

1 – D.M. 17-01-2018

Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”.

2 – Circ. 2- 02 -2009, n.617

“Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018”.

	<p align="center"><i>Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</i></p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

6. CARATTERISTICHE DEI CALCESTRUZZI AI FINI DELLA DURABILITA'

Al fine di valutare le caratteristiche vincolanti delle miscele di calcestruzzo nei confronti della durabilità viene fatto riferimento alla norma EN 206-1 ed alla norma UNI 11104. Di seguito, per ciascun elemento viene riportata la classe di esposizione che risulta vincolante ai fini delle caratteristiche della miscela. Inoltre, sono riportati la classe di resistenza, la dimensione massima degli aggregati, la classe di consistenza e il copriferro minimo delle armature:

6.1 Conglomerato cementizio:

Magrone di sottofondazione:


Classe di resistenza caratteristica a compressione C12/15 Mpa

Opere in c.a. (soletta nervata):

Classe di resistenza caratteristica a compressione	C30/37 MPa
Classe di esposizione	XF3
Dimensione nominale max aggregati	Dupper=25 mm
Dimensione nominale min aggregati	Dupper=16 mm
Classe di consistenza	S4
Rapporto A/C	0.5
Tipo di cemento	CEM II secondo UNI EN 197-1
Cont. Min. cemento	340 kg
Copriferro nominale	50 mm

Calcestruzzo per opere di fondazione (pali):

Classe di resistenza caratteristica a compressione	C25/30 MPa
Classe di esposizione	XC2
Dimensione nominale max aggregati	Dupper=25 mm
Dimensione nominale min aggregati	Dupper=16 mm
Classe di consistenza	S4
Rapporto A/C	0.6
Tipo di cemento	CEM II secondo UNI EN 197-1
Cont. Min. cemento	300 kg
Copriferro nominale	50 mm

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

7. MATERIALI

Di seguito si riepilogano le caratteristiche di resistenza considerate in sede di calcolo e verifica:

Calcestruzzo magro:

Caratteristiche dei materiali - Magrone	var	unità	
Resistenza caratteristica a compressione cubica	R _{ck}	Mpa	15
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica	f _{ck}	Mpa	12
Resistenza media a compressione cilindrica	f _{cm}	Mpa	20
Modulo elastico cls	E _{cm}	Mpa	27267
Resistenza media a trazione semplice	f _{ctm}	Mpa	1.61
Resistenza media a trazione per flessione	f _{cfm}	Mpa	1.93
coefficiente parziale di resistenza	γ _C		1.50
coefficiente riduttivo per resistenze di lunga durata	α _{cc}		0.85
Resistenza a compressione di calcolo SLU	f _{cd}	Mpa	7.06

Calcestruzzo per opere in c.a. (soletta nervata):


Caratteristiche Calcestruzzo	Var	unità	C30/37
Resistenza a compressione caratteristica cubica	R _{ck}	Mpa	37
Resistenza a compressione caratteristica cilindrica	f _{ck} = 0.83 R _{ck}	Mpa	30
Resistenza media a compressione cilindrica	f _{cm} = f _{ck} + 8	Mpa	38.00
Resistenza media a trazione semplice	f _{ctm}	Mpa	2.90
Resistenza caratteristica a trazione semplice	f _{ctk5%} = 0.7 f _{ctm}	Mpa	2.03
Resistenza caratteristica a trazione semplice	f _{ctk95%} = 1.3 f _{ctm}	Mpa	3.77
Resistenza media a trazione per flessione	f _{cfm} = 1.2 f _{ctm}	Mpa	3.48
Modulo elastico	E _{cm} = 22000 x (f _{cm} /10) ^{0.3}	Mpa	32837

STATI LIMITE ULTIMI	Var	unità	
coefficiente γ _C	γ _C		1.50
coefficiente α _{cc}	α _{cc}		0.85
Resistenza a compressione di calcolo	f _{cd} = α _{cc} f _{ck} /γ _C	Mpa	17.00
Resistenza a trazione di calcolo	f _{ctd} = f _{ctk} /γ _C	Mpa	1.35

STATI LIMITE DI ESERCIZIO	Var	unità	
σ _{c, max} - combinazione di carico caratteristica	σ _{c, max} = 0.60 f _{ck}	Mpa	18.00
σ _{c, max} - combinazione di carico quasi permanente	σ _{c, max} = 0.45 f _{ck}	Mpa	13.50
σ _{rl} - stato limite di formazione delle fessure	σ _{rl} = f _{ctm} /1.2	Mpa	2.41

ANCORAGGIO DELLE BARRE	Var	unità	
Tensione tan. ultima di ad. φ ≤ 32 mm - buona ad.	f _{bd} = 2.25 x 1.0 x 1.0 x f _{ctk} /g _C	Mpa	3.04
Tensione tan. ultima di ad. φ ≤ 32 mm - non buona ad.	f _{bd} = 2.25 x 0.7 x 1.0 x f _{ctk} /g _C	MPa	2.13

Calcestruzzo non armato o a bassa perc. di armatura	Var	unità	
Resistenza a trazione di calcolo	f _{ct1d} = 0.85 f _{ctd}	Mpa	1.15
tensione di compressione limite	σ _{clim} = f _{cd} - 2(f _{ct1d} ² + f _{cd} f _{ctd}) ^{0.5}	Mpa	7.87

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

Calcestruzzo per strutture di fondazione (pali):

Caratteristiche Calcestruzzo	Var	unità	C25/30
Resistenza a compressione caratteristica cubica	R_{ck}	Mpa	30
Resistenza a compressione caratteristica cilindrica	$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	Mpa	25
Resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	Mpa	33.00
Resistenza media a trazione semplice	f_{ctm}	Mpa	2.56
Resistenza caratteristica a trazione semplice	$f_{ctk5\%} = 0.7 f_{ctm}$	Mpa	1.80
Resistenza caratteristica a trazione semplice	$f_{ctk95\%} = 1.3 f_{ctm}$	Mpa	3.33
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{ctm} = 1.2 f_{ctm}$	Mpa	3.08
Modulo elastico	$E_{cm} = 22000 \times (f_{cm}/10)^{0.3}$	Mpa	31476
STATI LIMITE ULTIMI			
coefficiente γ_c	γ_c		1.50
coefficiente α_{cc}	α_{cc}		0.85
Resistenza a compressione di calcolo	$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$	Mpa	14.17
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c$	Mpa	1.20
STATI LIMITE DI ESERCIZIO			
$\sigma_{c, max}$ - combinazione di carico caratteristica	$\sigma_{c, max} = 0.60 f_{ck}$	Mpa	15.00
$\sigma_{c, max}$ - combinazione di carico quasi permanente	$\sigma_{c, max} = 0.45 f_{ck}$	Mpa	11.25
σ_t - stato limite di formazione delle fessure	$\sigma_t = f_{ctm} / 1.2$	Mpa	2.14
ANCORAGGIO DELLE BARRE			
Tensione tan. ultima di ad. $\phi \leq 32$ mm - buona ad.	$f_{bd} = 2.25 \times 1.0 \times 1.0 \times f_{ctk} / g_c$	Mpa	2.69
Tensione tan. ultima di ad. $\phi \leq 32$ mm - non buona ad.	$f_{bd} = 2.25 \times 0.7 \times 1.0 \times f_{ctk} / g_c$	MPa	1.89


7.1 Verifiche allo Stato limite di apertura delle fessure

Le condizioni ambientali, ai fini della protezione contro la corrosione delle armature, sono suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato dalla Tab. 4.1.III delle NTC2018:

Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Condizioni Aggressive per le verifiche a fessurazione della soletta nervata (classe di esposizione XF3).

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

La Tab. 4.1.IV stabilisce i criteri per la scelta degli stati limite di fessurazione in funzione delle condizioni ambientali e del tipo di armatura:

Tab. 4.1.IV - Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di Esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile Stato limite	w_k	Poco sensibile Stato limite	w_k
A	Ordinarie	frequente	apertura fessure	$\leq w_2$	apertura fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
B	Aggressive	frequente	apertura fessure	$\leq w_1$	apertura fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$
C	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	apertura fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	apertura fessure	$\leq w_1$

Pertanto, nel caso in esame si ha:

Verifiche a fessurazione di strutture in c.a. **soletta nervata**– condizioni ambientali **aggressive**
– **Armatura poco sensibile**:


- Combinazione di azioni frequente: $w_k \leq w_3 = 0.3 \text{ mm}$

7.2 Acciai

Acciaio per armatura c.a.

Acciaio tipo **B450C** controllato in stabilimento saldabile.

Caratteristiche Acciaio per Calcestruzzo armato	Var	unità
Qualità dell'acciaio		B450C
Tensione caratteristica di snervamento nominale	f_{yk}	Mpa 450
Tensione caratteristica a carico ultimo nominale	f_{tk}	Mpa 540
Modulo elastico	E_s	Mpa 210000
diametro minimo della barra impiegabile	ϕ_{min}	mm 6
diametro massimo della barra impiegabile	ϕ_{max}	mm 40
STATI LIMITE ULTIMI		
	Var	unità
coefficiente γ_s	γ_s	1.15
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$	Mpa 391.3
STATI LIMITE DI ESERCIZIO		
	Var	unità
$\sigma_{s,max}$ - combinazione di carico caratteristica	$\sigma_{s,max} = 0.8 f_{yk}$	Mpa 360.0

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

8. PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

Sondaggi geognostici

Sono stati eseguiti n. 6 sondaggi geognostici a c.c. spinte sino alla profondità di 30 m, con prelievo di campioni indisturbati ed esecuzione di prove penetrometriche in foro SPT.

La tabella seguente riassume le quantità relative alla suddetta indagine geognostica.


SONDAGGIO n.	PROF. (m)	CAMPIONI IND. n.	SPT n.
1	30	2	6
2	30	2	6
3	30	2	6
4	30	2	6
5	30	2	6
6	30	2	6

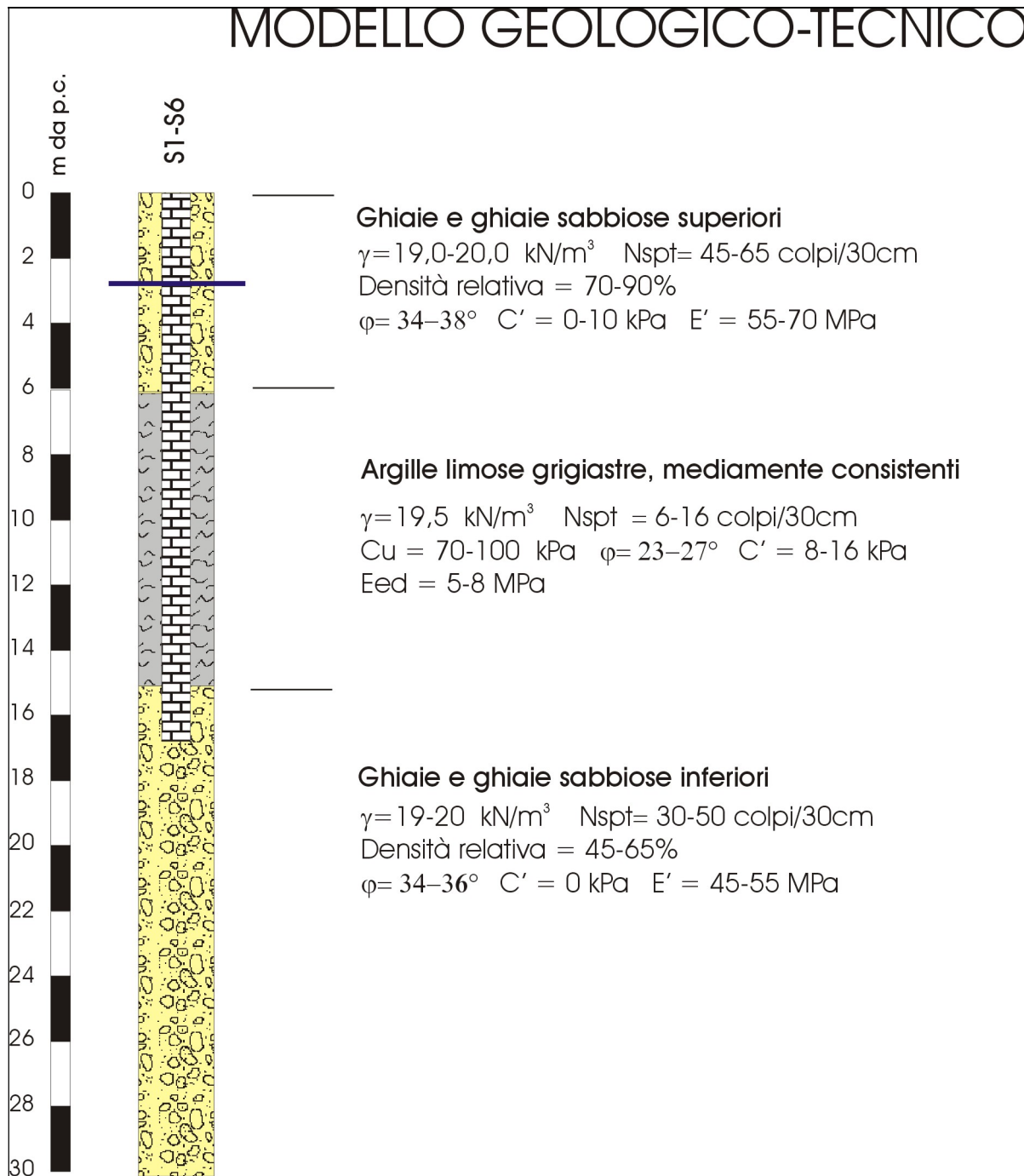
Indagine geofisica

Per eseguire valutazioni circa la risposta sismica locale si sono eseguite n. 6 prove Down-Hole associate a 6 prove a sismica passiva HVSR.


8.1 Stratigrafia e parametri di progetto

Come richiesto dalle NTC/2018 sulla base delle indagini effettuate si definisce il Modello geologico-tecnico del sottosuolo (figura seguente).

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS



Modello geologico-tecnico

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

9. ANALISI DEI CARICHI

9.1 Azioni permanenti

Pesi propri

Il peso proprio della struttura è stato valutato sulla base delle caratteristiche geometriche degli elementi costituenti la medesima e dei pesi specifici dei diversi materiali.

Per il c.a. si è assunto un peso dell'unità di volume del calcestruzzo pari a 25 kN/m³.

Carichi permanenti portati

Per tener conto del peso del ritombamento al di sopra della soglia, si è applicato un sovraccarico permanente di 27 kPa, ottenuto considerando un peso dell'unità di volume sommerso di 9 kN/m³ e uno spessore di 3.0 m.

Spinta idraulica

Ove presente, la presenza dell'acqua è stata tenuta in conto in termini di spinta sulle parti immerse, con riferimento ad un peso dell'unità di volume $\gamma_w=10.0$ kN/m³.

In particolare, saranno valutate:

Azioni orizzontali:

- Spinta dell'acqua a monte e a valle: $H_{w,m}$ e $H_{w,v}$


Azioni verticali:

- Peso dell'acqua sovrastante la struttura: G_w ;
- Sottospinta idraulica: S_w

Sulla base delle informazioni desunte dalla relazione idraulica, si sono considerati i seguenti valori dei livelli idrici in corrispondenza della soglia:

- $Tr = 200$ anni – 34.28 m s.l.m.
- $Tr = 50$ anni – 33.61 m s.l.m.

Le quote di estradosso della soglia, in corrispondenza della zona di magra, sono 28.73 m slm a monte e 28.43 m slm a valle.

	<p align="center"> Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO </p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

Da ciò scaturiscono i seguenti valori caratteristici delle azioni dovute all'acqua sulla soglia:

Tr = 200 anni

- $G_{w,m} = 56 \text{ kPa}$, $G_{w,v} = 59 \text{ kPa}$;
- $S_{w,m} = 75 \text{ kPa}$, $S_{w,v} = 78 \text{ kPa}$;
- $H_{w,m} = 124 \text{ kN/m}$, $H_{w,v} = 129 \text{ kN/m}$.

Tr = 50 anni

- $G_{w,m} = 48.8 \text{ kPa}$, $G_{w,v} = 51.8 \text{ kPa}$;
- $S_{w,m} = 67.8 \text{ kPa}$, $S_{w,v} = 70.8 \text{ kPa}$;
- $H_{w,m} = 111 \text{ kN/m}$, $H_{w,v} = 117 \text{ kN/m}$.

Come azione orizzontale sulle travi longitudinali di monte e di valle, si è considerata l'aliquota di carico (trapezoidale) agente sull'altezza delle travi (pari a 1.90 m).

9.2 Azioni variabili

Non si hanno azioni variabili agenti sulla struttura della soglia.

9.3 Azione sismica

La soglia può essere inquadrata come **opera priva di rilevanza ai fini sismici**, pertanto l'analisi in condizioni sismiche della struttura non rappresenta un caso significativo per la tipologia di opera prevista in progetto. Ne consegue che l'azione sismica non sarà presa in considerazione nel calcolo delle sollecitazioni.


9.4 Combinazione delle azioni

In accordo al par. 2.5.3 delle NTC2018 ai fini delle verifiche degli stati limite sono state considerate le seguenti combinazioni delle azioni:

Combinazione fondamentale, impiegata per le verifiche agli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$

Combinazione frequente), impiegata per le verifiche agli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.3)$$


Coefficienti parziali

Sono stati considerati i seguenti coefficienti parziali:

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

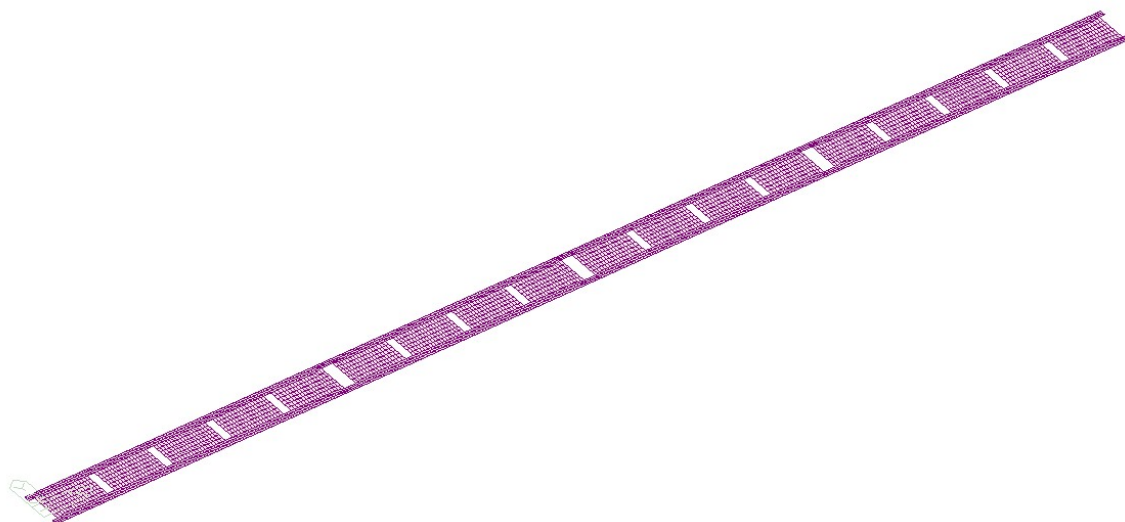
	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qk}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

10. MODELLO DI CALCOLO

Il calcolo delle sollecitazioni e la verifica degli elementi strutturali in c.a. sono stati eseguiti tramite un modello agli elementi finiti realizzato con il programma MIDAS-GEN 2019; a tale modello si sono poi aggiunti calcoli e controlli eseguiti tramite schemi statici semplificati.




La soletta di spessore pari a 60 cm è stata modellata attraverso elementi “shell”, mentre le travi longitudinali e i trasversi con elementi “frame”.

Poiché la struttura è separata da quella delle pile del ponte, nella modellazione è stata trascurata la presenza delle pile esistenti, pertanto i carichi statici considerati non andranno ad interessare tali elementi.

10.1 Metodologia di calcolo

Modelli di calcolo

La struttura della soglia risulta appoggiata direttamente al terreno, perciò il comportamento della struttura risulta essere quello di una fondazione superficiale; tuttavia, sono previsti in

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

progetto pali trivellati in c.a. di medio diametro (DN600 e DN800) di lunghezza 12.0 m, che hanno la funzione di “cucire” la nuova soglia al terreno di base.


A favore di sicurezza, il calcolo delle sollecitazioni nella soletta e nelle travi di irrigidimento è stato condotto ponendosi nella condizione più gravosa in cui il terreno di fondazione a supporto della briglia venga a mancare a causa di fenomeni di natura idraulica. Di conseguenza, i carichi agenti saranno trasferiti interamente ai pali di fondazione; il comportamento della soletta nervata è stato indagato secondo due casi limite, di seguito descritti:

- 1) Pali di fondazione infinitamente rigidi modellati come appoggi di tipo cerniera. In questo caso, ipotizzando la presenza di vuoti al di sotto della nuova struttura, si trascura cautelativamente la sottospinta idrostatica S_w che andrebbe a ridurre lo stato di sollecitazione e non si è considerato il peso del ritombamento G_3 per via della presunta erosione. Pertanto le sollecitazioni che interessano la briglia saranno determinate considerando il solo peso proprio della struttura G_1 e il sovraccarico verticale G_w .

Questo rappresenta un caso limite e non di certo il comportamento reale della struttura; tuttavia, come sarà di seguito mostrato e come si intuisce, tale configurazione sarà determinante nella definizione delle armature.

- 2) Pali di fondazione cedevoli modellati come molle con comportamento di tipo lineare. Essendo la prima ipotesi irrealistica ed estremamente gravosa, è stato analizzato anche questo caso limite. Definendo i pali come molle con adeguata rigidità traslazionale, è ragionevole considerare la sottospinta idrostatica S_w oltre al sovraccarico G_w e G_1 e al peso del ritombamento G_3 . La rigidità e la portata dei pali sono valutate nei paragrafi successivi. Tale modello sarà utilizzato per effettuare le verifiche sui pali.

Questa configurazione risulta meno severa in termini di sollecitazioni sulla soglia, come di seguito indicato.

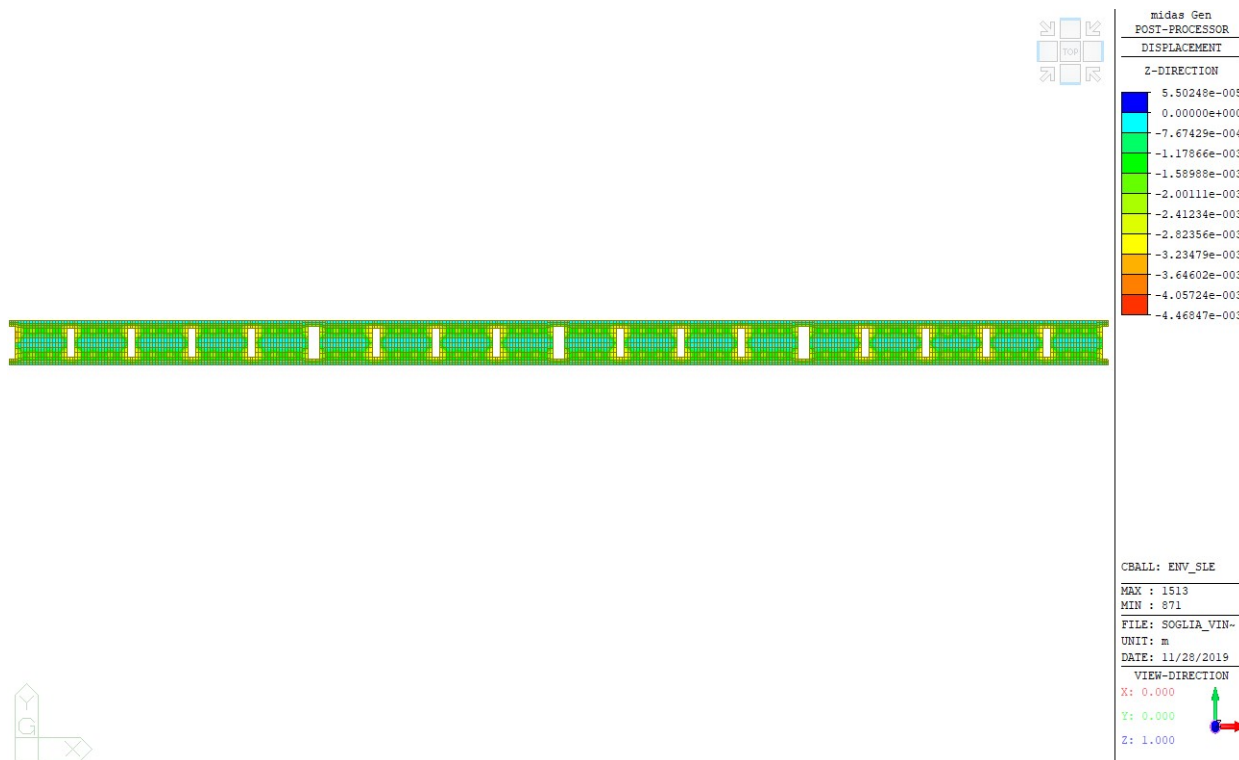
	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

11. VERIFICHE STRUTTURALI


Confronto tra i due casi limite

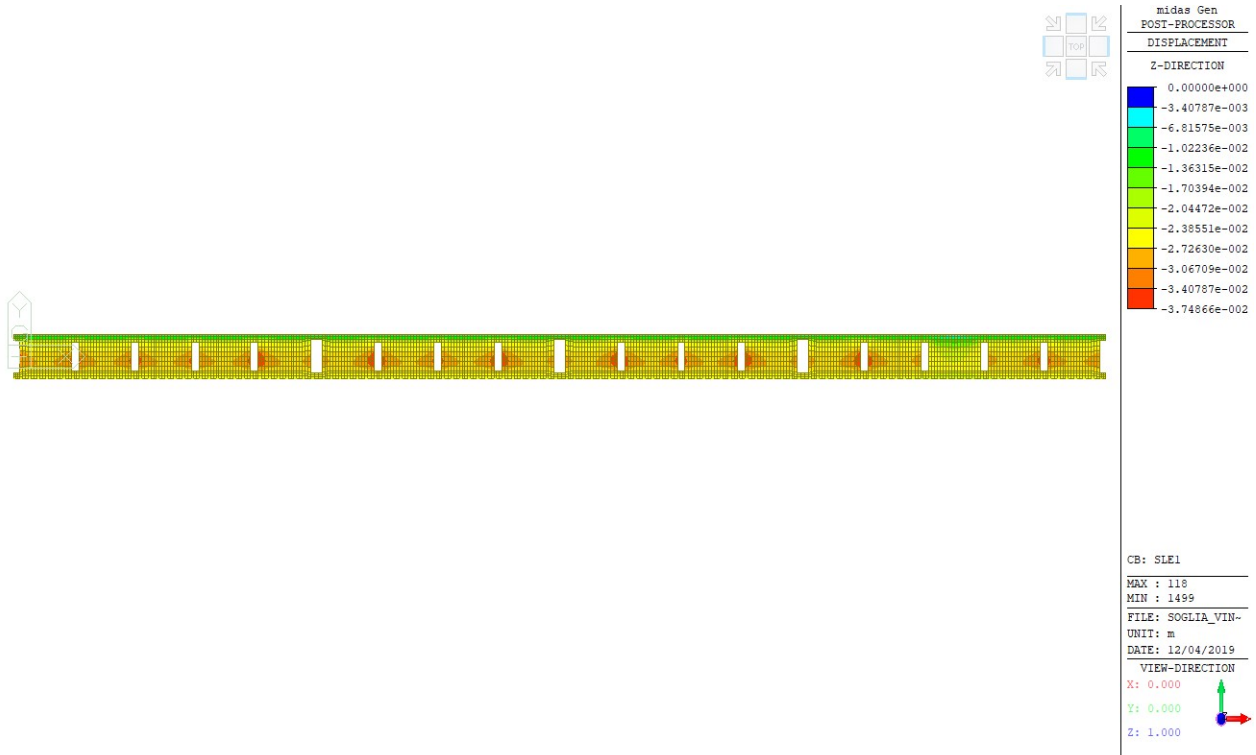
Nel presente paragrafo si riporta il confronto, in termini di deformate SLE e momenti flettenti SLU, tra i due modelli della soglia.

Nelle figure seguenti, vengono messe a confronto le deformate verticali della briglia nei due casi limite indagati (pali infinitamente rigidi e pali cedevoli). La struttura risulta ragionevolmente più deformabile nella seconda ipotesi.



Deformata verticale della briglia – Pali infinitamente rigidi


	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

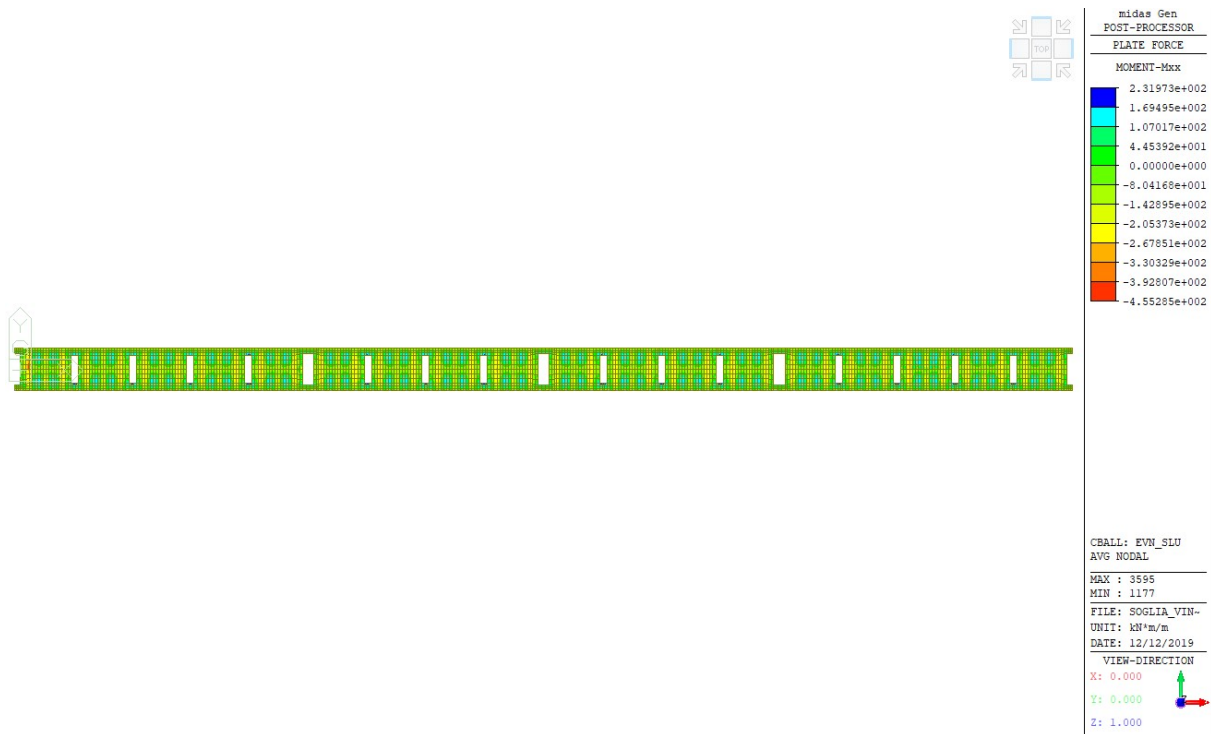


Deformata verticale della briglia – Pali cedevoli

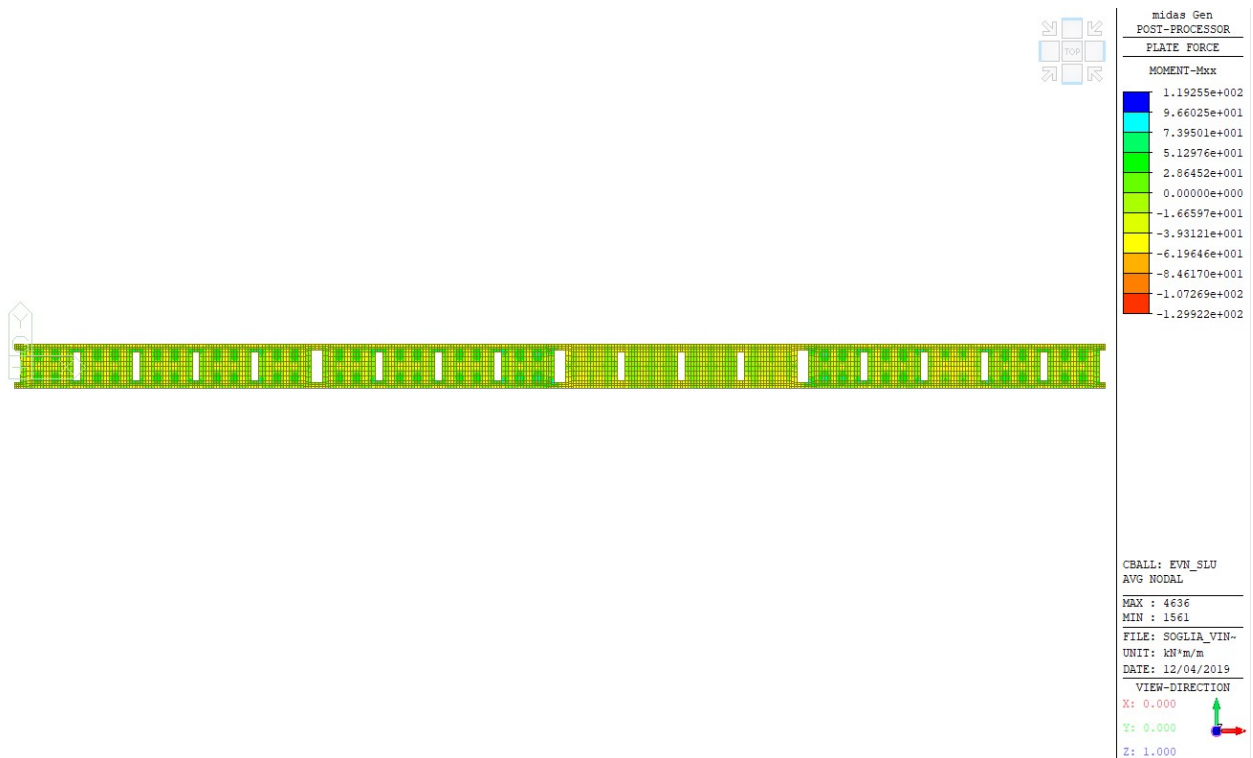
Nelle seguenti immagini vengono messe a confronto le massime sollecitazioni agenti sulla soglia.

Si è ottenuto che la soluzione di pali infinitamente rigidi e la presenza del solo sovraccarico idrostatico risulta maggiormente gravosa.


	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

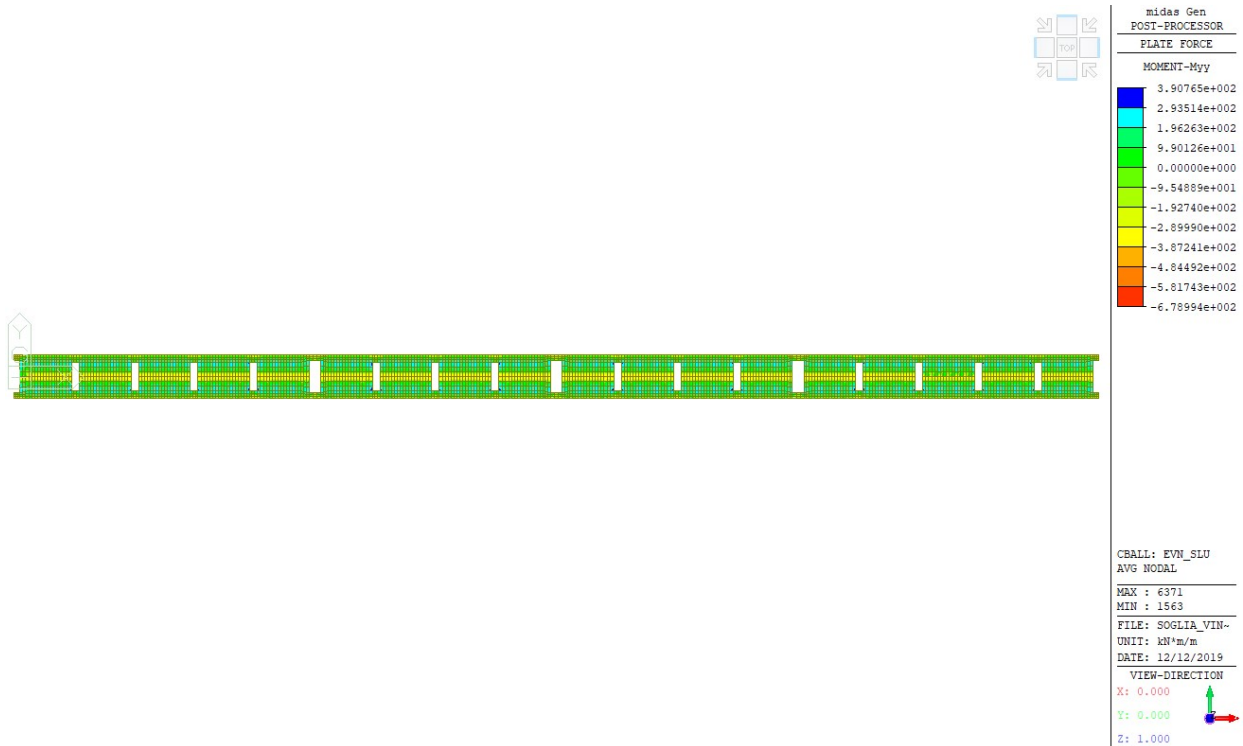


Mxx SLU – Pali infinitamente rigidi

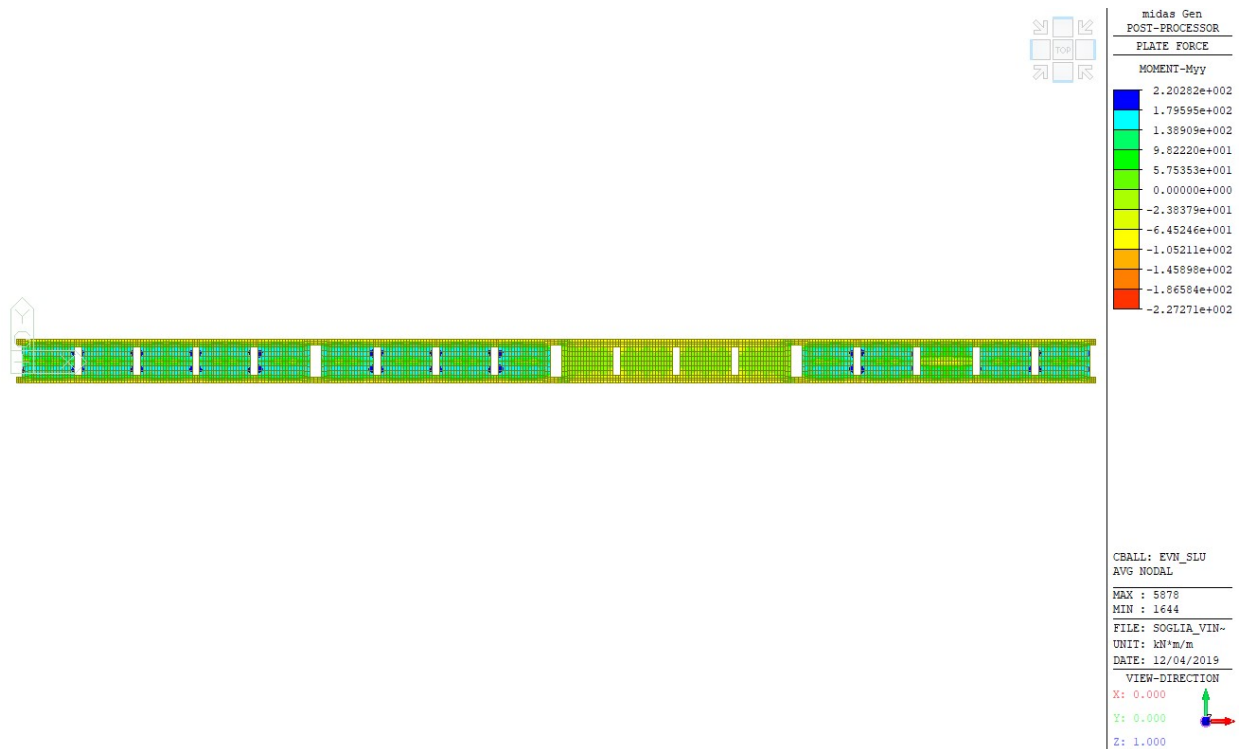


Mxx SLU – Pali cedevoli


	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS



Myy SLU – Pali infinitamente rigidi



Myy SLU – Pali cedevoli

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

Verifiche strutturali della soletta nervata – sp 60 cm

Nel presente paragrafo si riporta la verifica della soglia in c.a. di spessore 60 cm.

La soletta nervata sarà armata come segue:

- Direzione longitudinale estradosso: $\phi 16/10$ cm;
- Direzione longitudinale intradosso: $\phi 16/20 + \phi 16/40$ cm,
- Direzione trasversale estradosso: $\phi 20/20 + \phi 16/20$ cm;
- Direzione trasversale intradosso: $\phi 20/20 + \phi 20/40$ cm,

A seguire una tabella riassuntiva delle resistenze strutturali ottenute per la soglia.

	Spessore (cm)	Armature	Mrd SLU (kNm)	Vrd SLU (kN)	Mrd SLEF (kNm)
Trasv.	60 estra.	$\phi 20/20\text{cm} + \phi 16/20\text{cm}$	-494	233	-410
Trasv.	60 intra.	$\phi 20/20\text{cm} + \phi 20/40\text{cm}$	427		325
Long.	60 estra.	$\phi 16/10\text{cm}$	-394	201	-330
Long.	60 intra.	$\phi 16/20\text{cm} + \phi 16/40\text{cm}$	287		170

11.1.1.1 Armatura in direzione longitudinale


Nel presente paragrafo si mostra il calcolo della resistenza a flessione SLU e a fessurazione SLEF della soletta di spessore 60 cm, con le armature longitudinali sopra definite.

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C28/35	
	Resis. compr. di progetto fcd:	15.860	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	32308.0	MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.760	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	168.00	daN/cm ²
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300	mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto ftd:	391.30	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef:	2000000	daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \beta_2$:	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \beta_2$:	0.50	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Conglomerato:	C28/35	
N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	60.0

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

3	50.0	60.0
4	50.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-45.0	7.8	16
2	45.0	7.8	16
3	-45.0	52.2	16
4	45.0	52.5	16

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	2	5	16
2	3	4	8	16

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ. d'inerzia y
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ. d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	-10.00	0.00	0.00	0.00

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	170.00 (186.96)	0.00 (0.00)
2	0.00	-330.00 (-190.93)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Coprifero netto minimo barre longitudinali:	4.2	cm
Interfero netto minimo barre longitudinali:	8.4	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO


Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
As Tesi Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
Area armature trave [cm²] in zona tes. [Tra parentesi l'area minima ex § 7.2.6 NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesi
1	S	0.00	10.00	0.00	0.00	287.51	-0.13	28.75	34.2(12.0)
2	S	0.00	-10.00	0.00	0.00	-394.47	0.00	39.45	20.1(12.0)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
x/d Rapporto di duttilità (§ 4.1.2.1.2.1 NTC) deve essere < 0.45
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.124	-50.0	60.0	-0.00068	45.0	52.5	-0.02479	45.0	7.8
2	0.00350	0.133	-50.0	0.0	-0.00040	-45.0	7.8	-0.02275	45.0	52.5

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c x/d C.Rid.	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen. Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2 NTC]; deve essere < 0.45 Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue				
N° Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	-0.000001407	0.000539362	-0.028932054	0.124	0.700
2	0.000000000	-0.000500003	0.003500000	0.133	0.700

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata									
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]									
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)									
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]									
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)									
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre									
As eff.	Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure									
N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	
1	S	5.05	-50.0	60.0	-253.7	45.0	7.8	1600	14.1	
2	S	8.67	50.0	0.0	-348.6	45.0	52.5	1513	20.1	

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm											
e1	Esito della verifica											
e2	Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata											
k1	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata											
k2	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]											
k3	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]											
k4	= 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2*e1) per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]											
Ø	= 1.750 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali											
Cf	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali											
e sm - e cm	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]											
sr max	Copripferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa											
wk	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]											
Mx fess.	Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]											
My fess.	Massima distanza tra le fessure [mm]											
	Apertura fessure in mm calcolata = sr max*(e_sm - e_cm) [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi											
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]											
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]											
Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess	
1	S	-0.00151	0	0.500	16.0	42	0.00076 (0.00076)	383	0.291 (0.30)	186.96	0.00	
2	S	-0.00209	0	0.500	16.0	42	0.00107 (0.00105)	278	0.297 (0.30)	-190.93	0.00	

11.1.1.1 Armatura in direzione trasversale


Nel presente paragrafo si mostra il calcolo della resistenza a flessione SLU e a fessurazione SLEF della soletta di spessore 60 cm, con le armature trasversali sopra definite.

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe: Resis. compr. di progetto fcd: Def.unit. max resistenza ec2: Def.unit. ultima ecu: Diagramma tensione-deformaz.: Modulo Elastico Normale Ec: Resis. media a trazione fctm: Coeff. Omogen. S.L.E.: Sc limite S.L.E. comb. Frequenti: Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:		C28/35 15.860 MPa 0.0020 0.0035 Parabola-Rettangolo 32308.0 MPa 2.760 MPa 15.00 168.00 daN/cm² 0.300 mm	
ACCIAIO -	Tipo: Resist. caratt. snervam. fyk: Resist. caratt. rottura ftk: Resist. snerv. di progetto fyd: Resist. ultima di progetto ftd: Deform. ultima di progetto Epu: Modulo Elastico Ef: Diagramma tensione-deformaz.: Coeff. Aderenza istantaneo β1*β2 : Coeff. Aderenza differito β1*β2 :		B450C 450.00 MPa 450.00 MPa 391.30 MPa 391.30 MPa 0.068 2000000 daN/cm² Bilineare finito 1.00 0.50	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Classe Conglomerato:		Poligonale C28/35	
N° vertice:	X [cm]	Y [cm]	
1	-50.0	0.0	
2	-50.0	60.0	

	<p>Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	<p>Relazione di Calcolo Strutturale</p>	AS

3	50.0	60.0
4	50.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-45.0	7.8	20
2	45.0	7.8	20
3	-45.0	52.2	20
4	45.0	52.5	20

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre			
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione			
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione			
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione			
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione			
1	1	2	5	20
2	3	4	3	20
3	3	4	5	16

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ. d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ. d'inerzia x				
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	-10.00	0.00	0.00	0.00

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		
N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	-410.00 (-199.53)	0.00 (0.00)
2	0.00	325.00 (196.95)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate


Copriferro netto minimo barre longitudinali:	4.0	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	-1.8	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata								
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)								
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia								
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia								
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)								
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia								
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia								
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r, Mx Res, My Res) e (N,Mx,My)								
As Tesa	Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000								
	Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex § 7.2.6 NTC]								
N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	10.00	0.00	0.00	427.92	1.70	42.79	22.0(12.0)
2	S	0.00	-10.00	0.00	0.00	-494.73	0.00	49.47	25.8(12.0)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione									
x/d	Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45									
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)									
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)									
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)									
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)									
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)									
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)									
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)									
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)									
N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.141	-50.0	60.0	-0.00016	45.0	52.5	-0.02129	45.0	7.8
2	0.00350	0.149	-50.0	0.0	0.00001	-45.0	7.8	-0.01999	45.0	52.5

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA


a, b, c x/d C.Rid.	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen. Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]; deve essere < 0.45 Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue				
N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	-0.000001160	0.000472828	-0.024927710	0.141	0.700
2	0.000000000	-0.000447480	0.003500000	0.149	0.700

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata									
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]									
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)									
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]									
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)									
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre									
As eff.	Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure									
N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	
1	S	9.44	50.0	0.0	-341.5	45.0	52.5	1500	25.8	
2	S	7.84	-50.0	60.0	-315.4	45.0	7.8	1534	22.0	

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm										
e1	Esito della verifica										
e2	Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata										
k1	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata										
kt	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]										
k2	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]										
k3	= 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2*e1) per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]										
k4	= 1.750 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali										
Ø	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali										
Cf	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]										
e sm - e cm	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa										
sr max	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]										
wk	Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]										
Mx fess.	Massima distanza tra le fessure [mm]										
My fess.	Apertura fessure in mm calcolata = sr max*(e_sm - e_cm) [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi										
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]										
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]										
Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00205	0	0.500	18.2	40	0.00117 (0.00102)	250	0.294 (0.30)	-199.53	0.00
2	S	-0.00190	0	0.500	20.0	40	0.00095 (0.00095)	307	0.291 (0.30)	196.95	0.00

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

11.1.1.2 Resistenza a taglio SLU

VERIFICHE SLU PER SOLLECITAZIONI TAGLIANTI


Dati	Var	unità	SOGLIA TRASV.	SOGLIA LONG.
Resistenza a compressione cubica caratteristica	Rck	Mpa	35	35
Resistenza a compressione cilindrica caratteristica	fck	Mpa	29	29
Coefficiente parziale γ_c	γ_c		1.50	1.50
Coefficiente parziale α_{cc}	α_{cc}		0.85	0.85
Resistenza a compressione di calcolo eccezionale	fcd	Mpa	16.5	16.5
Tensione caratteristica di snervamento acciaio di armatura	fyk	Mpa	450	450
tensione di calcolo acciaio	fywd	Mpa	391.3	391.3
Caratteristiche geometriche sezione				
Altezza	H	m	0.60	0.60
Larghezza	B	m	1.00	1.00
Area calcestruzzo	Ac	m ²	0.600	0.600
Larghezza anima	bw	m	1.00	1.00
copriferro	c	m	0.078	0.078
altezza utile della sezione	d	m	0.522	0.522
Compressione agente nella sezione				
Sforzo normale di calcolo	N _{Ed}	kN	0.0	0.0
Elementi senza armature trasversali resistenti al taglio				
Area dell'armatura longitudinale di trazione ancorata al di là dell'intersezione dell'asse dell'armatura con una eventuale fessura a 45° che si inneschi nella sezione considerata	Asl	mmq	2198	1407
Coefficiente k	k	m	1.62	1.62
v _{min}	v _{min}		0.39	0.39
rapporto geometrico di armatura longitudinale	ρ_1		0.00421	0.00270
tensione media di compressione nella sezione	σ_{cp}	Mpa	0.00	0.00
Taglio agente singola greca	V	kN		
Resistenza a taglio	V_{Rd}	kN	233.67	201.38

La struttura della soglia non necessita di armatura specifica a taglio.

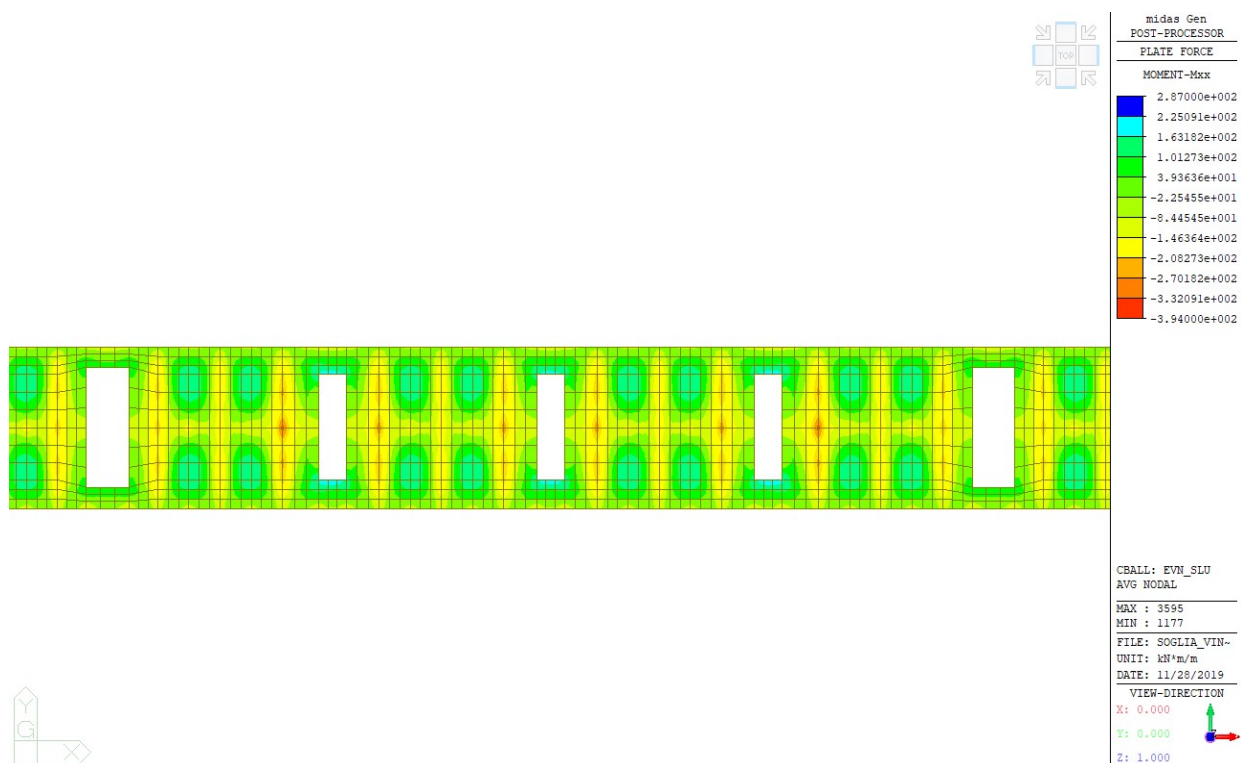
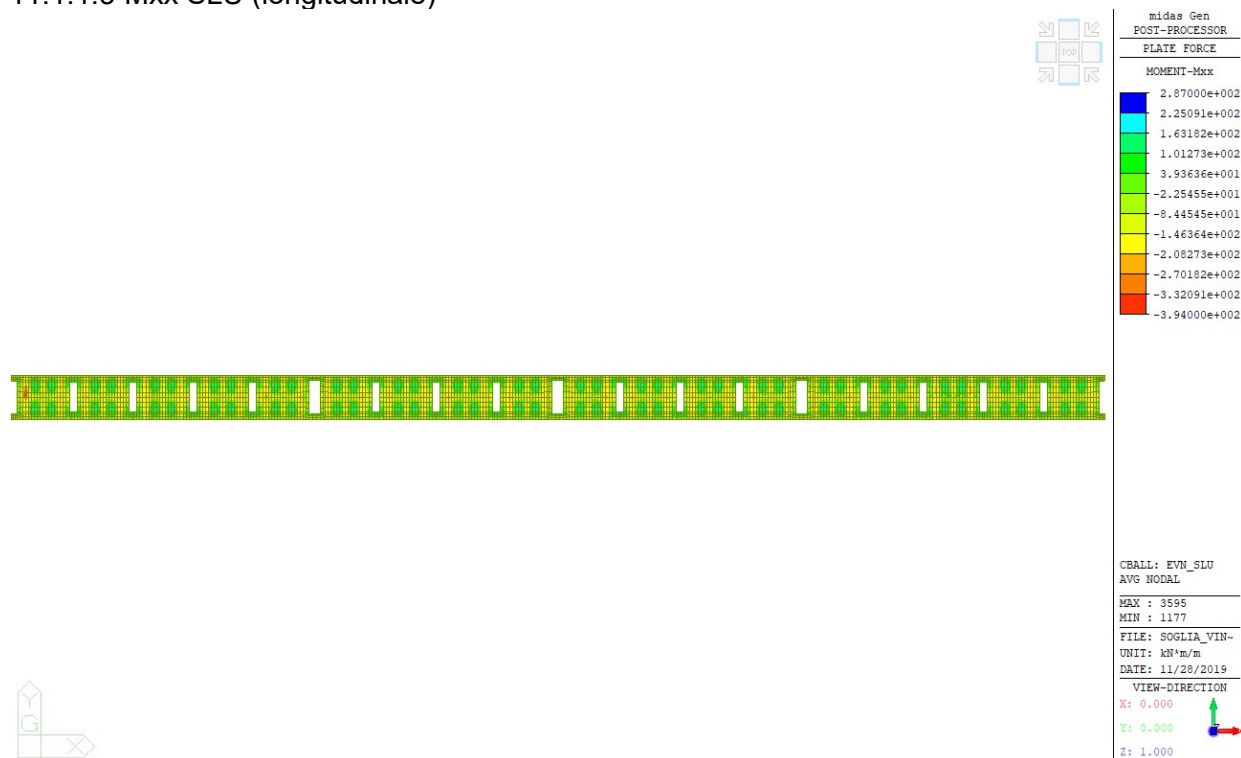
A seguire, le verifiche di sicurezza a flessione e taglio SLU e a fessurazione SLE.

Si riportano delle mappe cromatiche, limitate rispetto ai valori di resistenza precedentemente definiti.


Nelle eventuali zone “bianche”, le sollecitazioni agenti risultano maggiori delle corrispondenti resistenze.

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

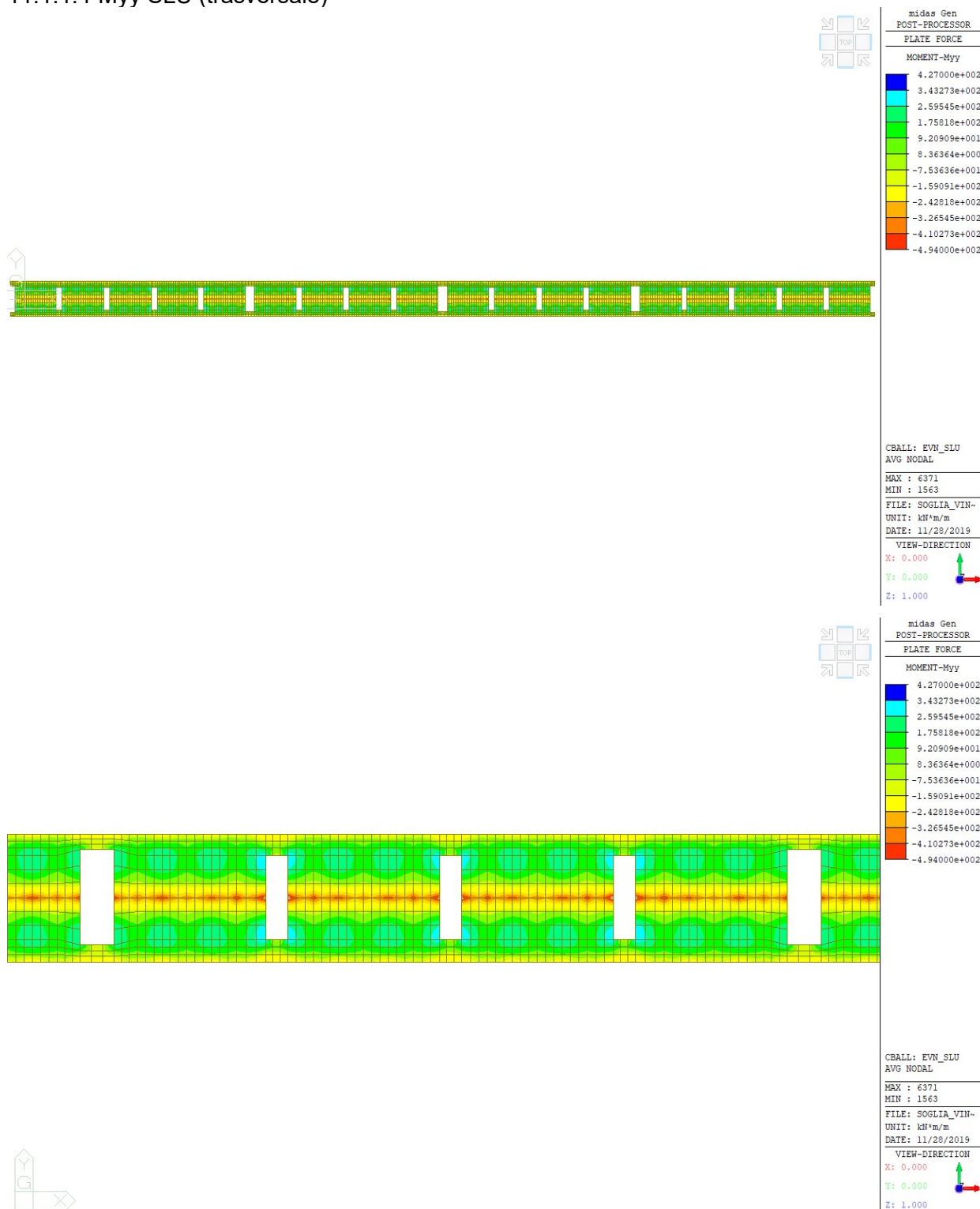
11.1.1.3 Mxx SLU (longitudinale)




La verifica risulta soddisfatta.

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

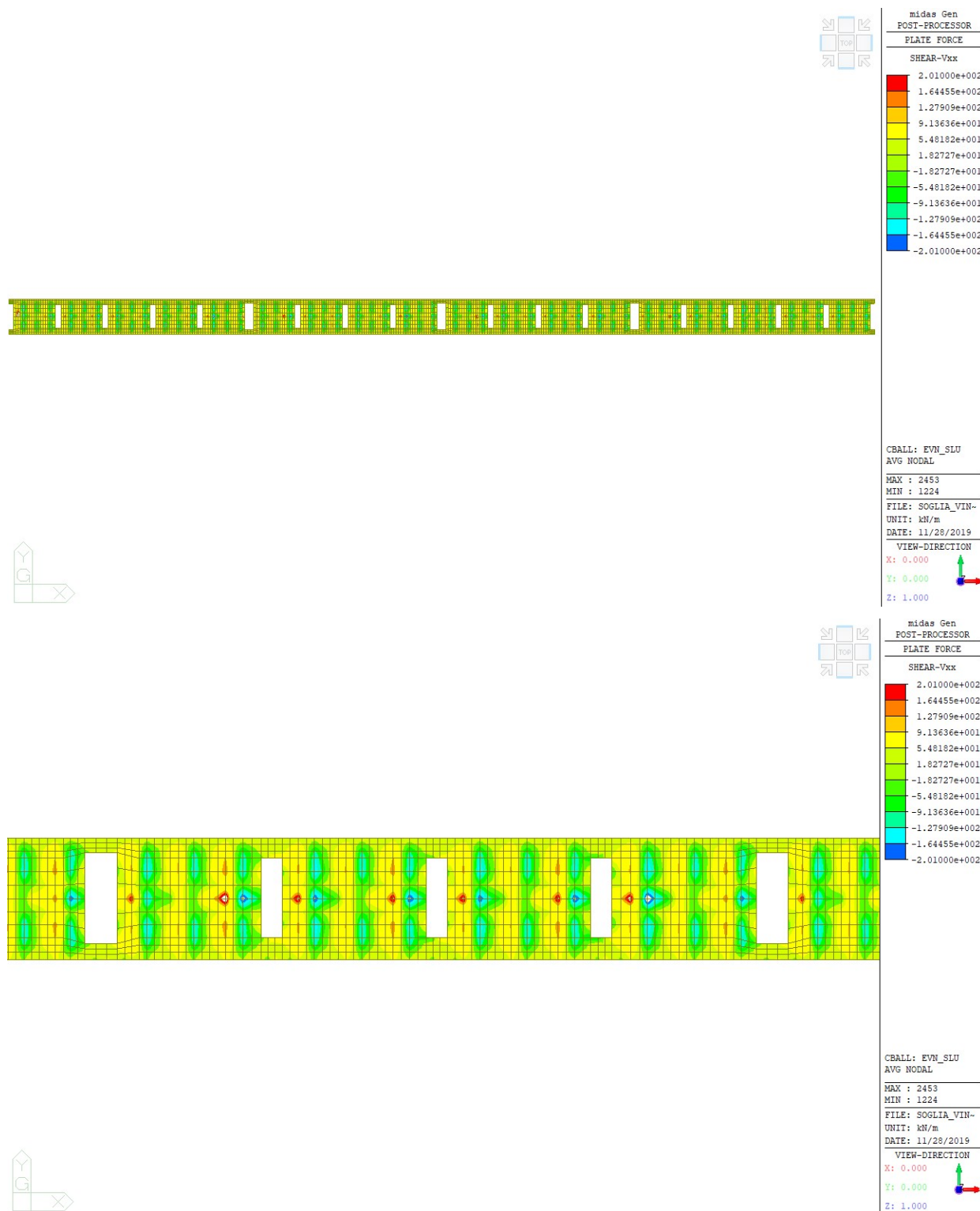
11.1.1.4 Myy SLU (trasversale)




La verifica risulta soddisfatta.

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

11.1.1.5 Vxx SLU (longitudinale)



La verifica risulta soddisfatta.

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

Travi longitudinali di monte e di valle – 100x190 cm

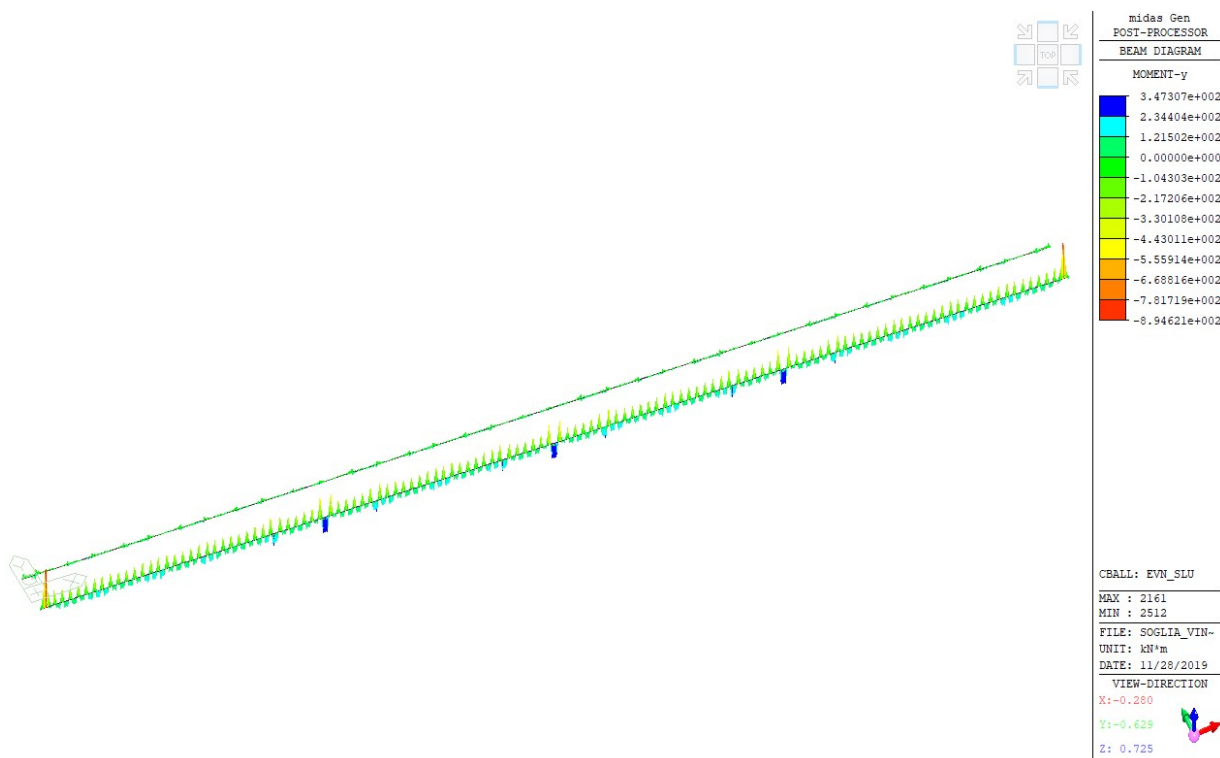
Nel presente paragrafo si riporta la verifica della trave longitudinale di monte e di valle, entrambe di sezione 100x190 cm.


Travi saranno armate come segue:

- Estradosso: 7 ϕ 24;
- Intradosso: 7 ϕ 24;
- Estradosso: 5+5 ϕ 12;
- Staffe: ϕ 14/20 cm.

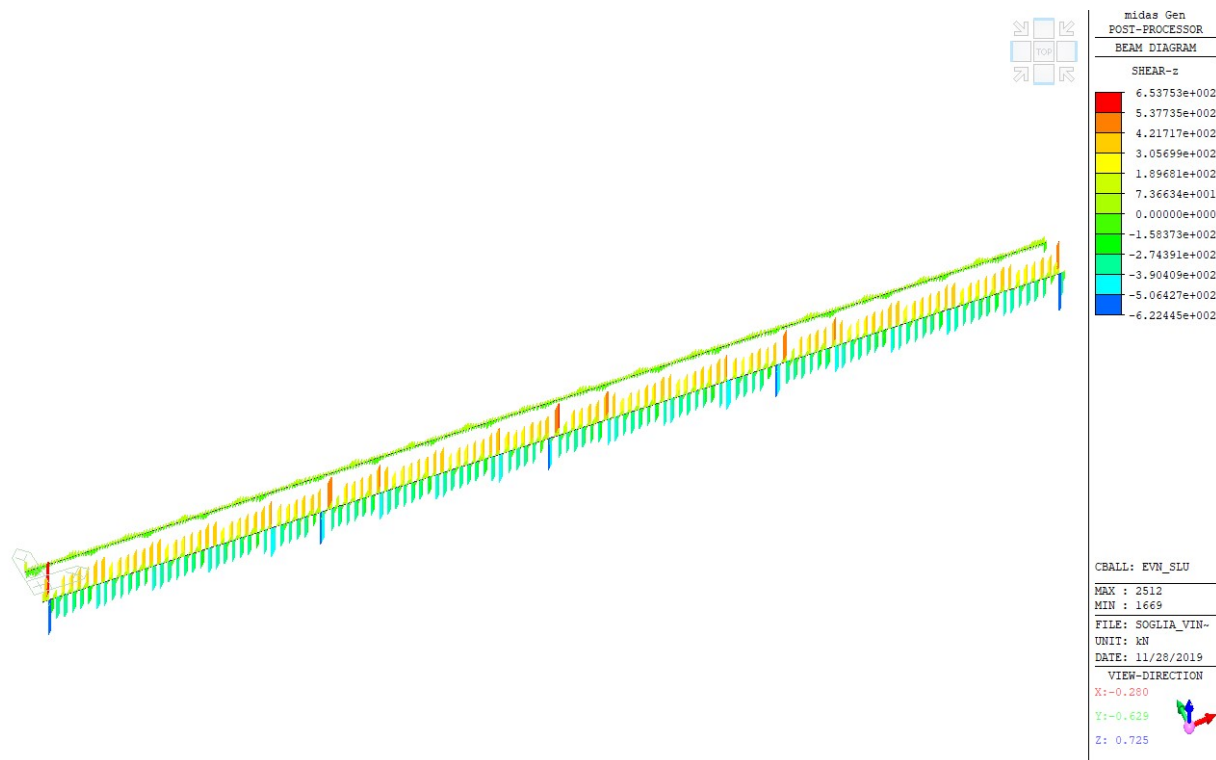
A seguire le sollecitazioni flettenti e taglianti agenti sulla trave longitudinale di monte e di valle, relative al modello di calcolo di pali infinitamente rigidi.

11.1.1.7 M SLU

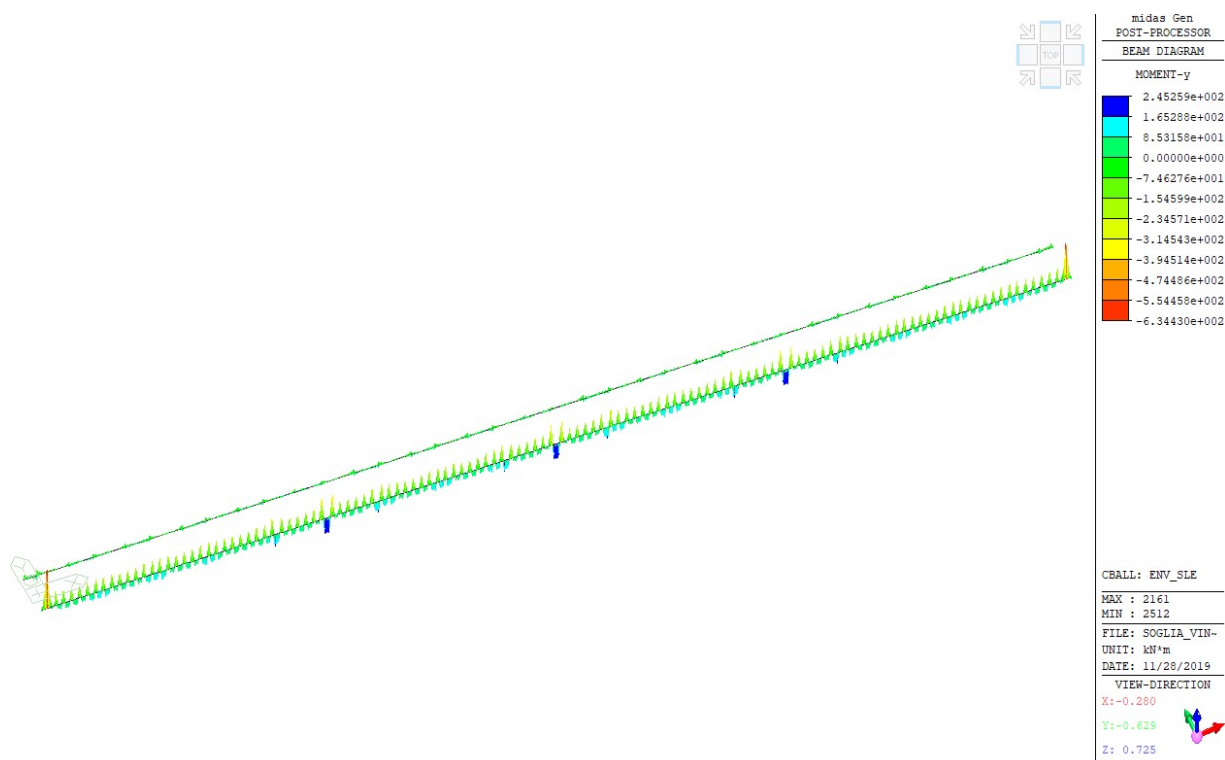



	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

11.1.1.8 V SLU



11.1.1.9 M SLEF



	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

11.1.1.10 Momenti resistenti SLU e SLEF

A seguire una tabella riassuntiva delle resistenze strutturali ottenute per le travi di monte e di valle.

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C28/35	
	Resist. compr. di progetto fcd:	15.860	MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	32308.0	MPa
	Resist. media a trazione fctm:	2.760	MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	168.00	daN/cm ²
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300	mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto fid:	391.30	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo β1*β2 :	1.00	
	Coeff. Aderenza differito β1*β2 :	0.50	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Conglomerato:	C28/35	
N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	190.0
3	50.0	190.0
4	50.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-45.0	7.6	24
2	45.0	7.6	24
3	-45.0	182.4	24
4	45.0	182.4	24

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE


N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre			
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione			
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione			
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione			
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione			
N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	2	5	24
2	3	4	5	24
3	1	3	5	12
4	2	4	5	12

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione) Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez. Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez. Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ. d'inerzia y Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ. d'inerzia x				
Mx					
My					
Vy					
Vx					
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	-895.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	347.00	0.00	0.00	0.00

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione) Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione	
Mx		

	<p>Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	-634.00 (-1879.80)	0.00 (0.00)
2	0.00	245.00 (1879.80)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	3.8	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	12.6	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
As Tesa	Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000 Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex § 7.2.6 NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	-895.00	0.00	0.00	-2597.45	0.00	2.90	43.0(38.0)
2	S	0.00	347.00	0.00	0.00	2597.45	0.00	7.49	43.0(38.0)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
x/d	Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.052	-50.0	0.0	0.00072	-45.0	7.6	-0.06329	-45.0	182.4
2	0.00350	0.052	-50.0	190.0	0.00072	-45.0	182.4	-0.06329	-45.0	7.6

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000366168	0.003500000	0.052	0.700
2	0.000000000	0.000366168	-0.066071889	0.052	0.700

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)


Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	1.77	-50.0	0.0	-106.9	30.0	182.4	2373	31.7
2	S	0.68	-50.0	190.0	-41.3	30.0	7.6	2373	31.7

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm
e1	Esito della verifica
e2	Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
kt	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
k2	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb.frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k3	= 0.5 per flessione; =(e1 + e2)/(2*e1) per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k4	= 1.750 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Cf	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
e sm - e cm	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
sr max	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
wk	Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
Mx fess.	Massima distanza tra le fessure [mm]
My fess.	Apertura fessure in mm calcolata = sr max*(e_sm - e_cm) [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00056	0	0.500	24.0	64	0.00032 (0.00032)	418	0.134 (0.30)	-1879.80	0.00
2	S	-0.00022	0	0.500	24.0	64	0.00012 (0.00012)	418	0.052 (0.30)	1879.80	0.00

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS


Le verifiche risultano soddisfatte.

11.1.1.11 Tagli resistenti SLU

VERIFICHE SLU PER SOLLECITAZIONI TAGLIANTI

Dati	Var	unità	TRAVE LONG. LATERALI
Resistenza a compressione cubica caratteristica	Rck	Mpa	35
Resistenza a compressione cilindrica caratteristica	fck	Mpa	29
Coefficiente parziale γ_c	γ_c		1.50
Coefficiente parziale α_{cc}	α_{cc}		0.85
Resistenza a compressione di calcolo eccezionale	fcd	Mpa	16.5
Tensione caratteristica di snervamento acciaio di armatura	fyk	Mpa	450
tensione di calcolo acciaio	fywd	Mpa	391.3
Caratteristiche geometriche sezione			
Altezza	H	m	1.90
Larghezza	B	m	1.00
Area calcestruzzo	Ac	m^2	1.900
Larghezza anima	bw	m	1.00
copriferro	c	m	0.076
altezza utile della sezione	d	m	1.824
Compressione agente nella sezione			
Sforzo normale di calcolo	N _{Ed}	kN	0.0
Elementi senza armature trasversali resistenti al taglio			
Area dell'armatura longitudinale di trazione ancorata al di là dell'intersezione dell'asse dell'armatura con una eventuale fessura a 45° che si innesci nella sezione considerata	Asl	mmq	3164
Coefficiente k	k	m	1.33
v _{min}	v _{min}		0.29
rapporto geometrico di armatura longitudinale	ρ_1		0.00173
tensione media di compressione nella sezione	σ_{cp}	Mpa	0.00
Taglio agente singola greca	V	kN	
Resistenza a taglio	V_{Rd}	kN	499.51
			Si armatura a taglio
Elementi con armature trasversali resistenti al taglio			
<i>Verifica del conglomerato</i>			
Resistenza a taglio del conglomerato	V _{Rcd}	kN	9008
<i>Verifica dell'armatura trasversale</i>			
diametro staffe 1	fsw1	mm	14
passo staffe 1	scp1	m	0.20
numero di bracci 1	nb	-	2
Armatura a taglio (staffe) 1	Asw1	mmq	308
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	α	deg	90
Inclinazione dei puntoni in cls rispetto all'asse della trave	θ	deg	21.8
tensione media di compressione nella sezione	σ_{cp}	kPa	0
coefficiente alpha	α_c		1.00
Resistenza a "taglio trazione"	V _{Rsd}	kN	2472.3
Resistenza a "taglio compressione"	V _{Rcd}	kN	4659.0
Taglio agente	V	kN	655
Resistenza a taglio	V_{Rd}	kN	2472.3
FATTORE DI SICUREZZA			3.77

La verifica risulta soddisfatta.

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

Trave longitudinale centrale – 100x190 cm

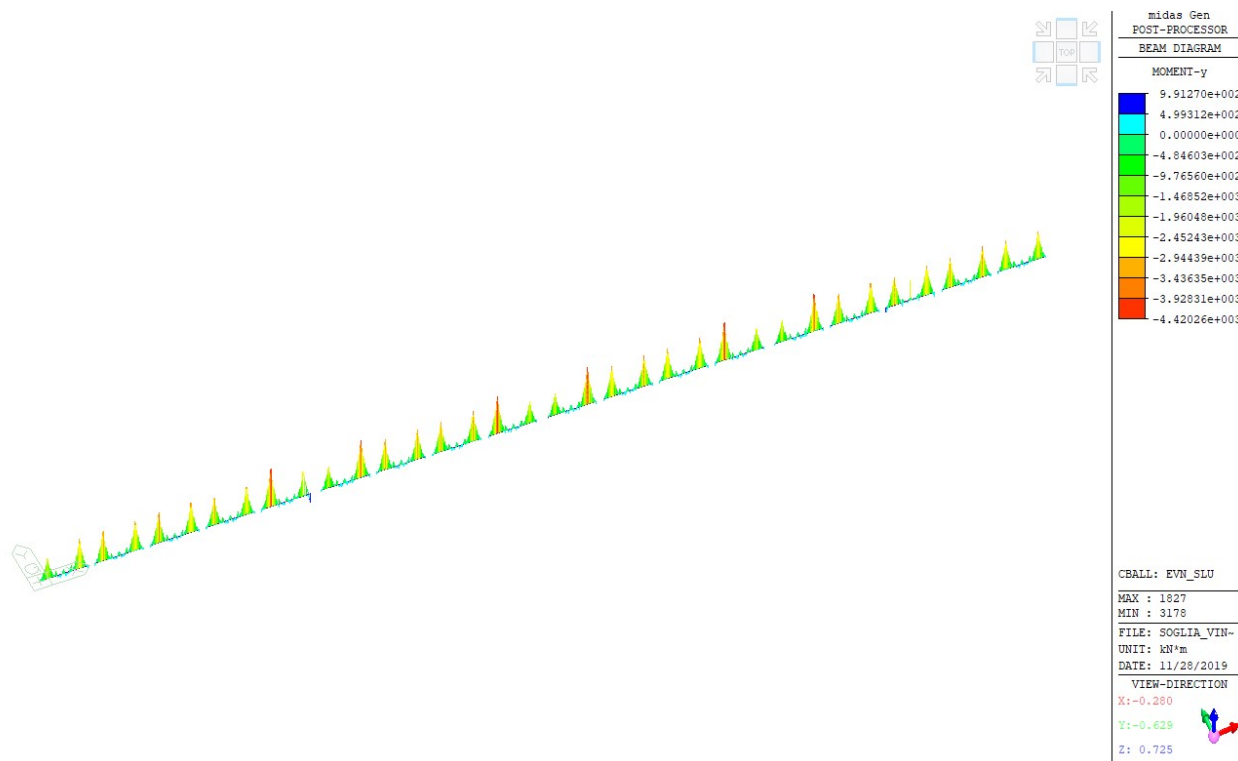
Nel presente paragrafo si riporta la verifica della trave longitudinale centrale, di sezione 100x190 cm.


Travi saranno armate come segue:

- Estradosso: 7 ϕ 24 e 7 ϕ 24 in doppio strato;
- Intradosso: 7 ϕ 24;
- Estradosso: 5+5 ϕ 12;
- Staffe: ϕ 14/20 cm.

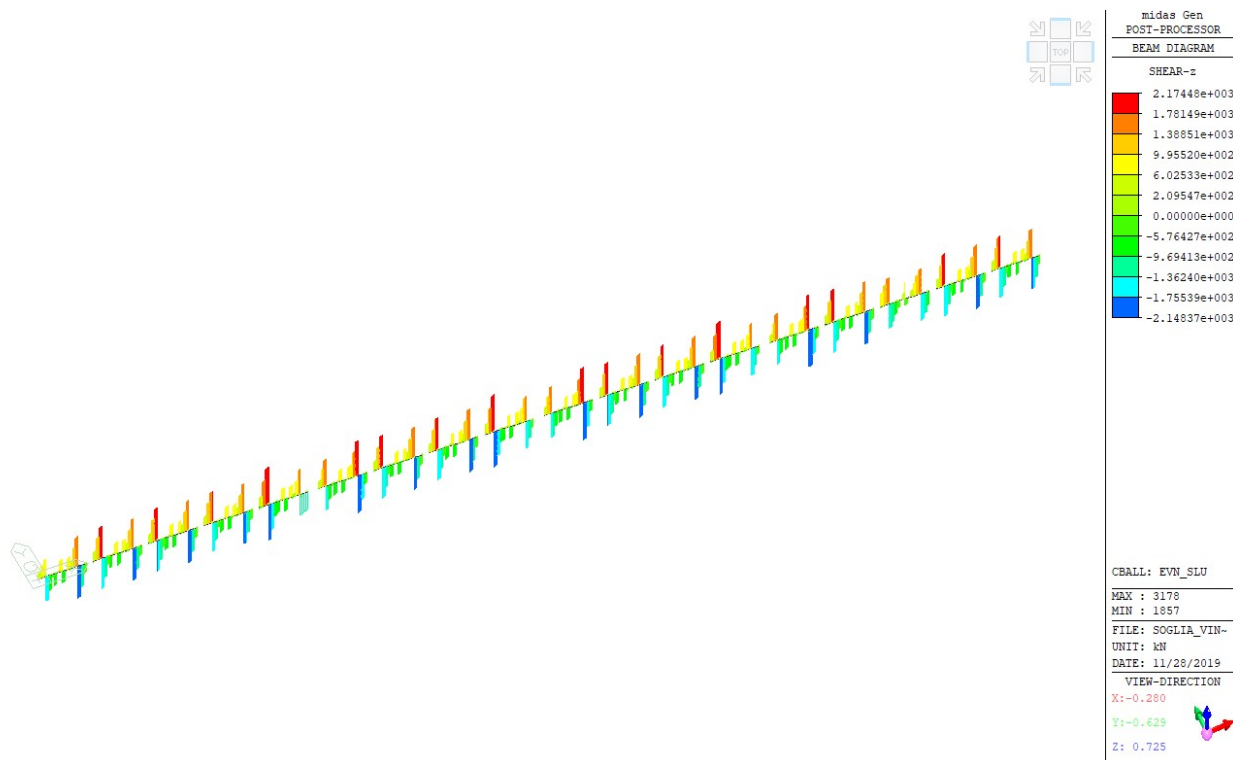
A seguire le sollecitazioni flettenti e taglianti agenti sulla trave longitudinale centrale, relative al modello di calcolo di pali infinitamente rigidi.

11.1.1.12 M SLU

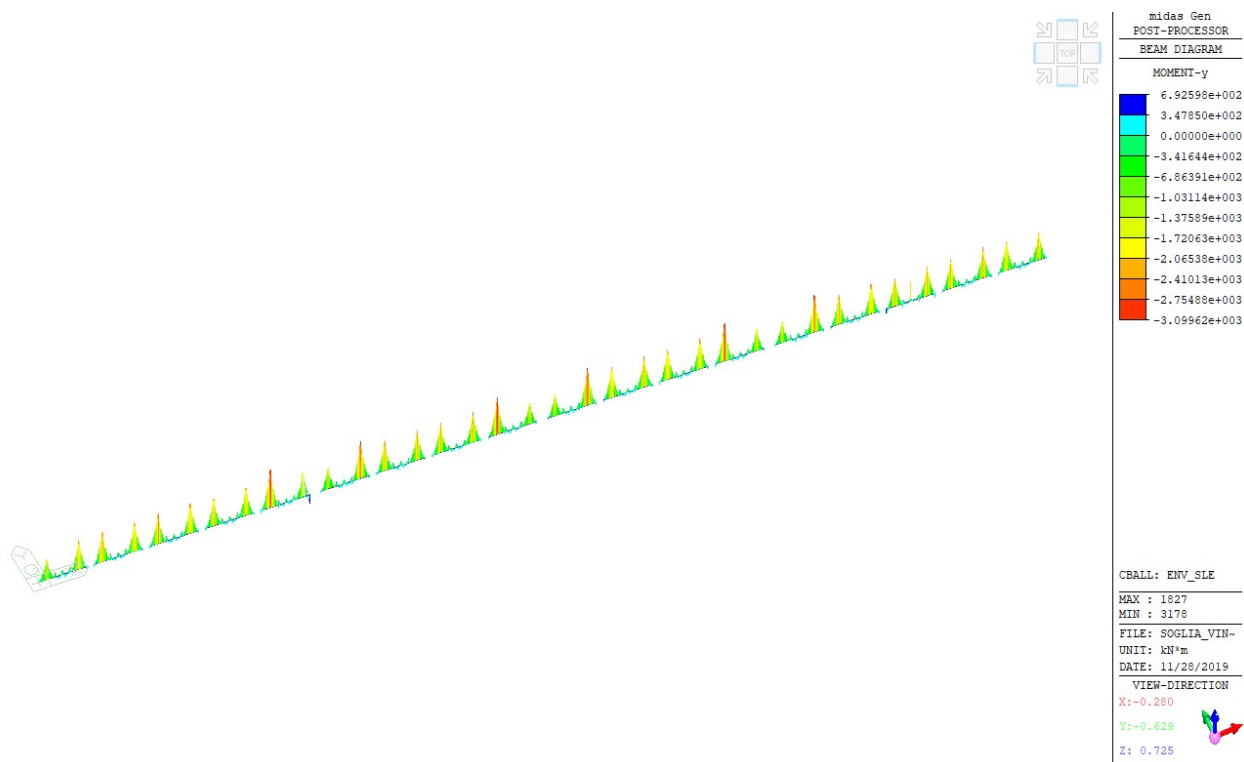



	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

11.1.1.13 V SLU



11.1.1.14 M SLEF



	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

11.1.1.15 Momenti resistenti SLU e SLEF

A seguire una tabella riassuntiva delle resistenze strutturali per la trave centrale.

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe: Resis. compr. di progetto fcd: Def.unit. max resistenza ec2: Def.unit. ultima ecu: Diagramma tensione-deformaz.: Modulo Elastico Normale Ec: Resis. media a trazione fctm: Coeff. Omogen. S.L.E.: Sc limite S.L.E. comb. Frequenti: Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	C28/35 15.860 MPa 0.0020 0.0035 Parabola-Rettangolo 32308.0 MPa 2.760 MPa 15.00 168.00 daN/cm ² 0.300 mm
ACCIAIO -	Tipo: Resist. caratt. snervam. fyk: Resist. caratt. rottura ftk: Resist. snerv. di progetto fyd: Resist. ultima di progetto ftd: Deform. ultima di progetto Epu: Modulo Elastico Ef: Diagramma tensione-deformaz.: Coeff. Aderenza istantaneo β1*β2 : Coeff. Aderenza differito β1*β2 :	B450C 450.00 MPa 450.00 MPa 391.30 MPa 391.30 MPa 0.068 200000 daN/cm ² Bilineare finito 1.00 0.50

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Classe Conglomerato:	Poligonale C28/35
N°vertice: 1 2 3 4	X [cm] -50.0 -50.0 50.0 50.0 Y [cm] 0.0 190.0 190.0 0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-42.4	7.6	24
2	42.4	7.6	24
3	-42.4	182.4	24
4	42.4	182.4	24
5	-42.4	178.8	24
6	42.4	178.8	24

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE


N°Gen. N°Barra Ini. N°Barra Fin. N°Barre Ø	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione Numero della barra finale cui si riferisce la generazione Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione Diametro in mm delle barre della generazione			
N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	2	5	24
2	3	4	5	24
3	1	3	5	12
4	2	4	5	12
5	5	6	5	24

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Mx My Vy Vx	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione) Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez. Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez. Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ. d'inerzia y Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ. d'inerzia x				
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	-4420.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	991.00	0.00	0.00	0.00

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Mx My	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione) Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione				
-------------------	--	--	--	--	--

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

N° Comb.	N	Mx	My
1	0.00	-3100.00 (-2015.48)	0.00 (0.00)
2	0.00	693.00 (1935.11)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	6.4	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	1.2	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls. (positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls. (positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r, Mx Res, My Res) e (N, Mx, My)
As Tesa	Verifica positiva se tale rapporto risulta >= 1.000 Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex § 7.2.6 NTC]

N° Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	-4420.00	0.00	0.00	-4703.45	0.00	1.06	74.6(38.0)
2	S	0.00	991.00	0.00	0.00	2604.10	0.00	2.63	43.0(38.0)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
x/d	Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N° Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.080	-50.0	0.0	0.00167	-42.4	7.6	-0.04047	-42.4	182.4
2	0.00350	0.056	-50.0	190.0	0.00090	-42.4	182.4	-0.05879	-42.4	7.6

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]; deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N° Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000241048	0.003500000	0.080	0.700
2	0.000000000	0.000341520	-0.061388715	0.056	0.700

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver	S = comb. verificata / N = comb. non verificata
Sc max	Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
Xc max, Yc max	Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
Xs min, Ys min	Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm²] in zona tesa considerata efficaci per l'apertura delle fessure


N° Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	6.81	-50.0	0.0	-286.4	28.3	182.4	2600	63.3
2	S	1.77	-50.0	190.0	-116.3	28.3	7.6	2375	31.7

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Ver.	La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
e1	Esito della verifica
e2	Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
k1	Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
kt	= 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
k2	= 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
k3	= 0.5 per flessione; = $(e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
k4	= 1.750 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Ø	= 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
Cf	Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace $A_{c\ eff}$ [eq.(7.11)EC2]
e sm - e cm	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
sr max	Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
wk	Tra parentesi: valore minimo = $0.6 \cdot S_{max} / E_s$ [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
Mx fess.	Massima distanza tra le fessure [mm]
My fess.	Apertura fessure in mm calcolata = $s_r \cdot max(e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00151	0	0.500	24.0	64	0.00104 (0.00086)	279	0.291 (0.30)	-2015.48	0.00
2	S	-0.00061	0	0.500	24.0	64	0.00035 (0.00035)	418	0.146 (0.30)	1935.11	0.00

Le verifiche risultano soddisfatte.


	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

11.1.1.16 Tagli resistenti SLU

VERIFICHE SLU PER SOLLECITAZIONI TAGLIANTI

Dati	Var	unità	TRAVE LONG. CENTRALE
Resistenza a compressione cubica caratteristica	Rck	Mpa	35
Resistenza a compressione cilindrica caratteristica	fck	Mpa	29
Coefficiente parziale γ_c	γ_c		1.50
Coefficiente parziale α_{cc}	α_{cc}		0.85
Resistenza a compressione di calcolo eccezionale	fcd	Mpa	16.5
Tensione caratteristica di snervamento acciaio di armatura	fyk	Mpa	450
tensione di calcolo acciaio	fywd	Mpa	391.3
Caratteristiche geometriche sezione			
Altezza	H	m	1.90
Larghezza	B	m	1.00
Area calcestruzzo	Ac	m ²	1.900
Larghezza anima	bw	m	1.00
copriferro	c	m	0.076
altezza utile della sezione	d	m	1.824
Compressione agente nella sezione			
Sforzo normale di calcolo	N _{Ed}	kN	0.0
Elementi senza armature trasversali resistenti al taglio			
Area dell'armatura longitudinale di trazione ancorata al di là dell'intersezione dell'asse dell'armatura con una eventuale fessura a 45° che si inneschi nella sezione considerata	Asl	mmq	3164
Coefficiente k	k	m	1.33
v _{min}	v _{min}		0.29
rapporto geometrico di armatura longitudinale	ρ_1		0.00173
tensione media di compressione nella sezione	σ_{cp}	Mpa	0.00
Taglio agente singola greca	V	kN	
Resistenza a taglio	V_{Rd}	kN	499.51

La verifica risulta soddisfatta.

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

Travi trasversali – 100x150 cm

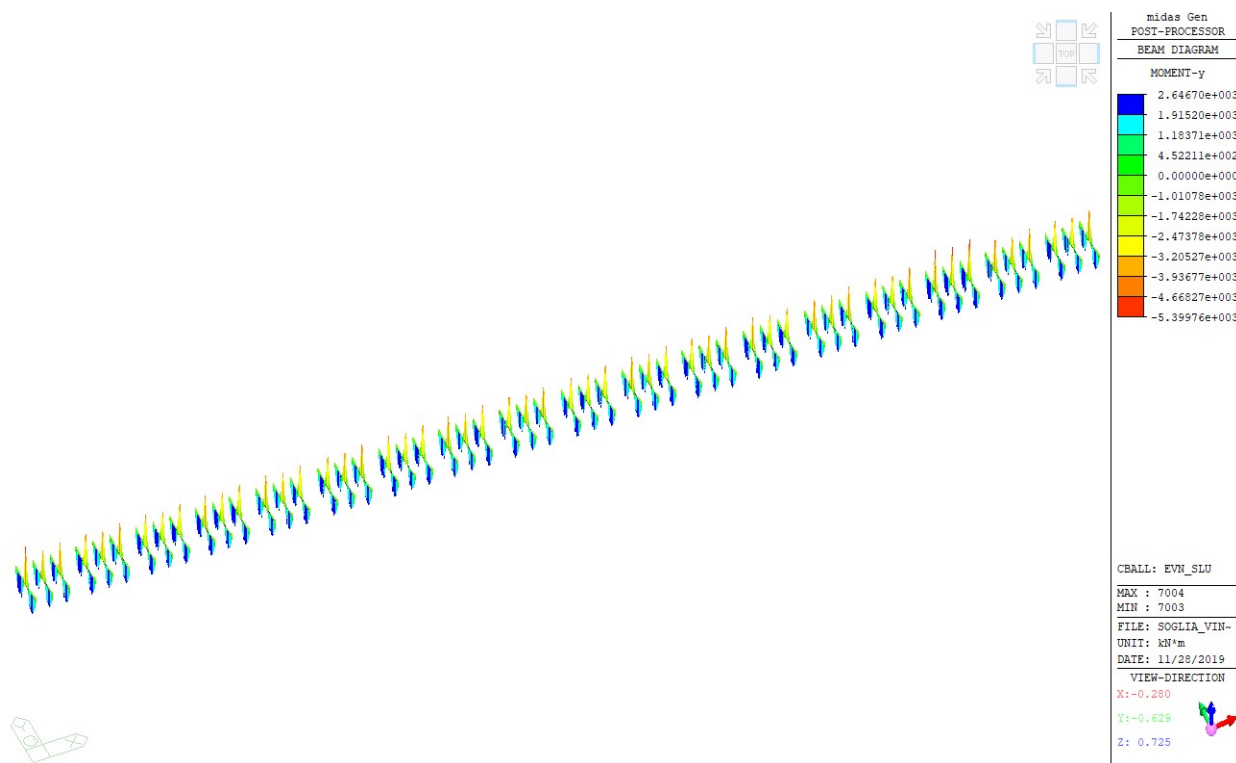
Nel presente paragrafo si riporta la verifica delle travi trasversali, di sezione **100x150 cm**.

Travi saranno armate come segue:


- Estradosso: **10 ϕ 24 e 7 ϕ 24 in doppio strato**;
- Intradosso: **7 ϕ 24 e 7 ϕ 24 in doppio strato**;
- Estradosso: **5+5 ϕ 12**;
- Staffe: **ϕ 14/15 cm**.

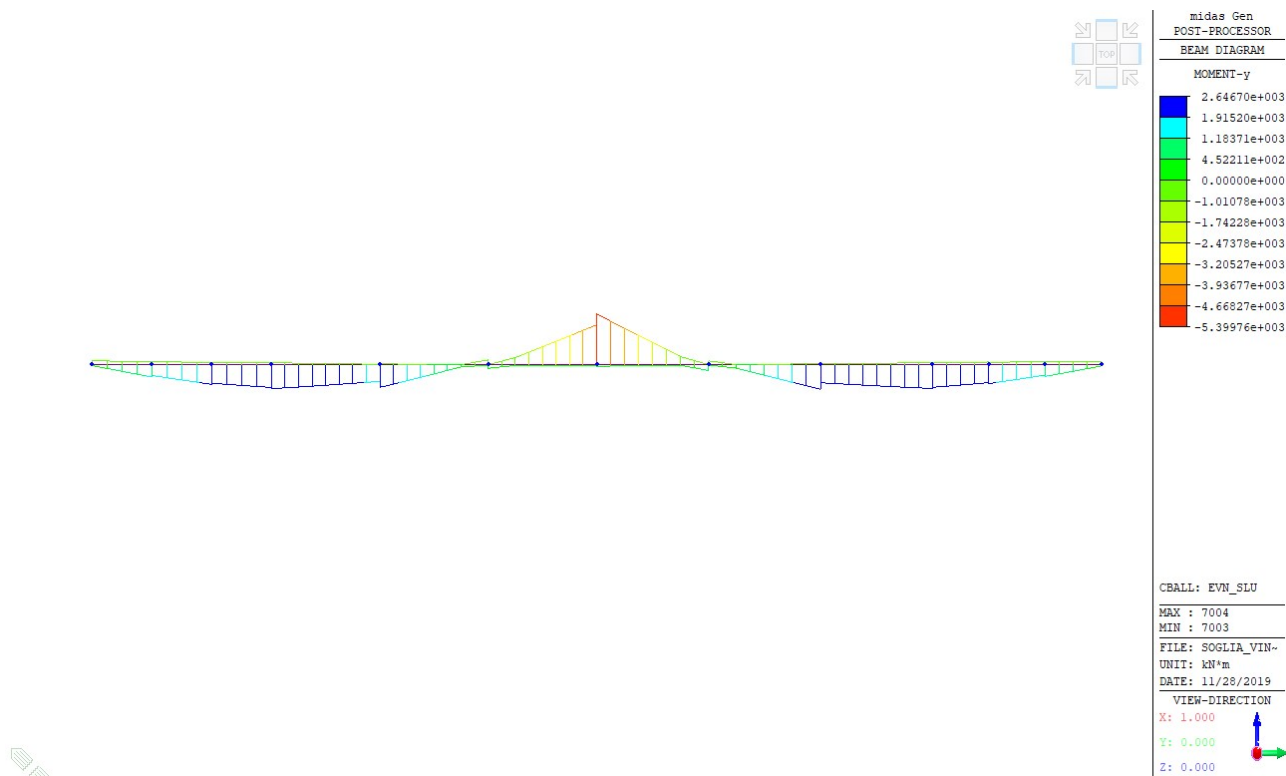
A seguire le sollecitazioni flettenti e taglianti agenti sulla trave trasversale, relative al modello di calcolo di pali infinitamente rigidi.

11.1.1.17 M SLU

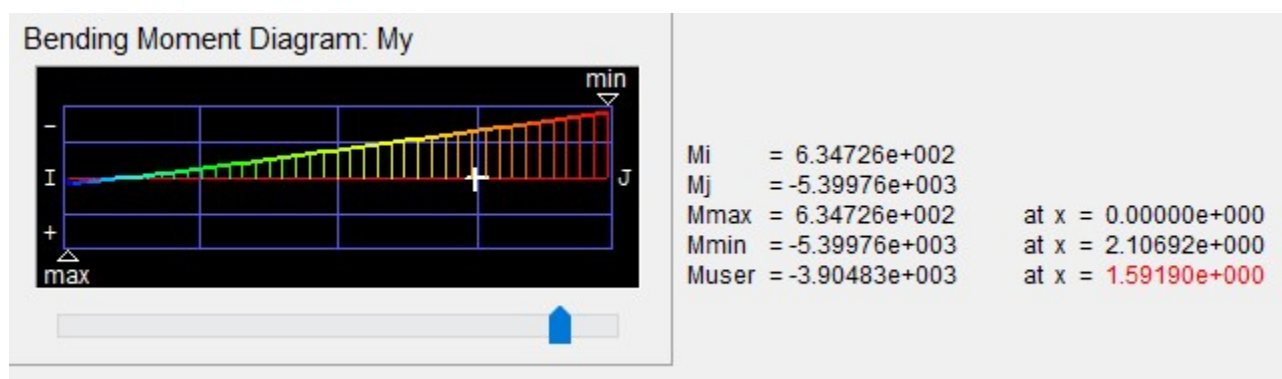



Si esplicita la singola trave trasversale più caricata di tutto il graticcio.

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

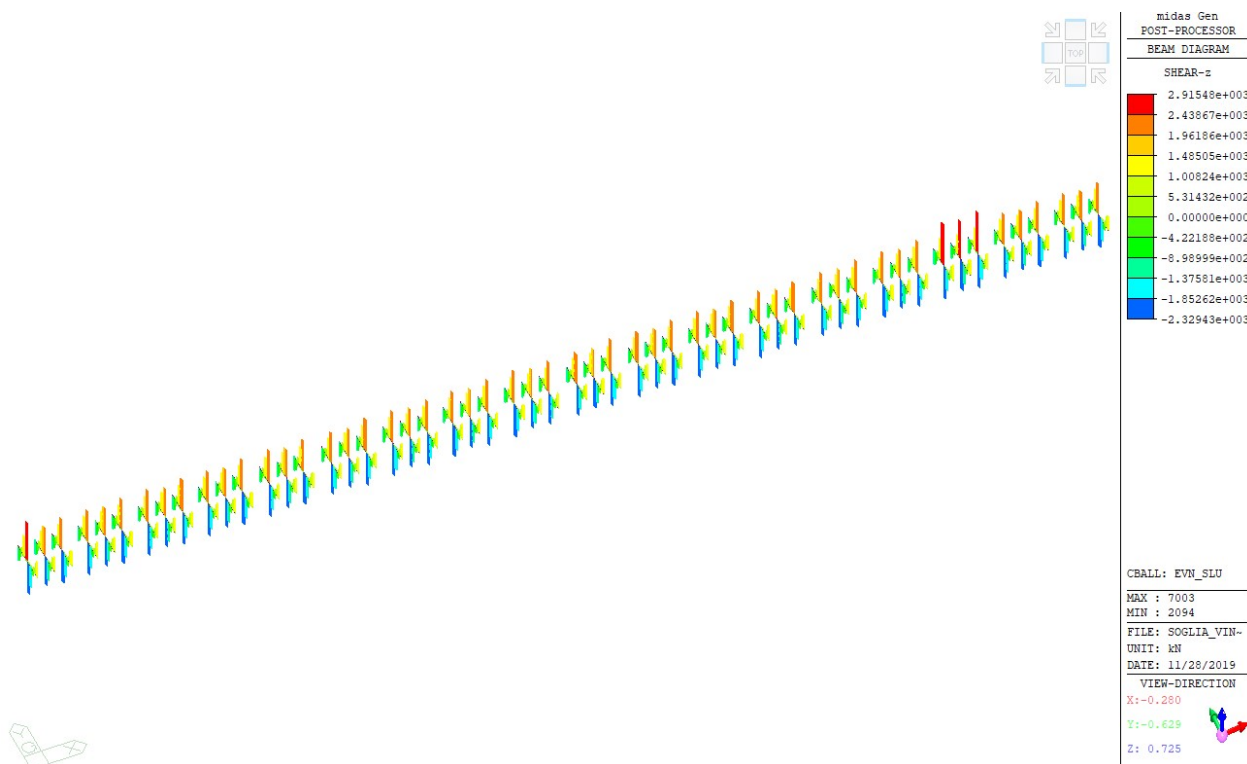


A seguire, si riporta il valore del momento flettente SLU nel trasverso, nella sezione in cui la trave si innesta alla trave principale di altezza complessiva 190 cm.

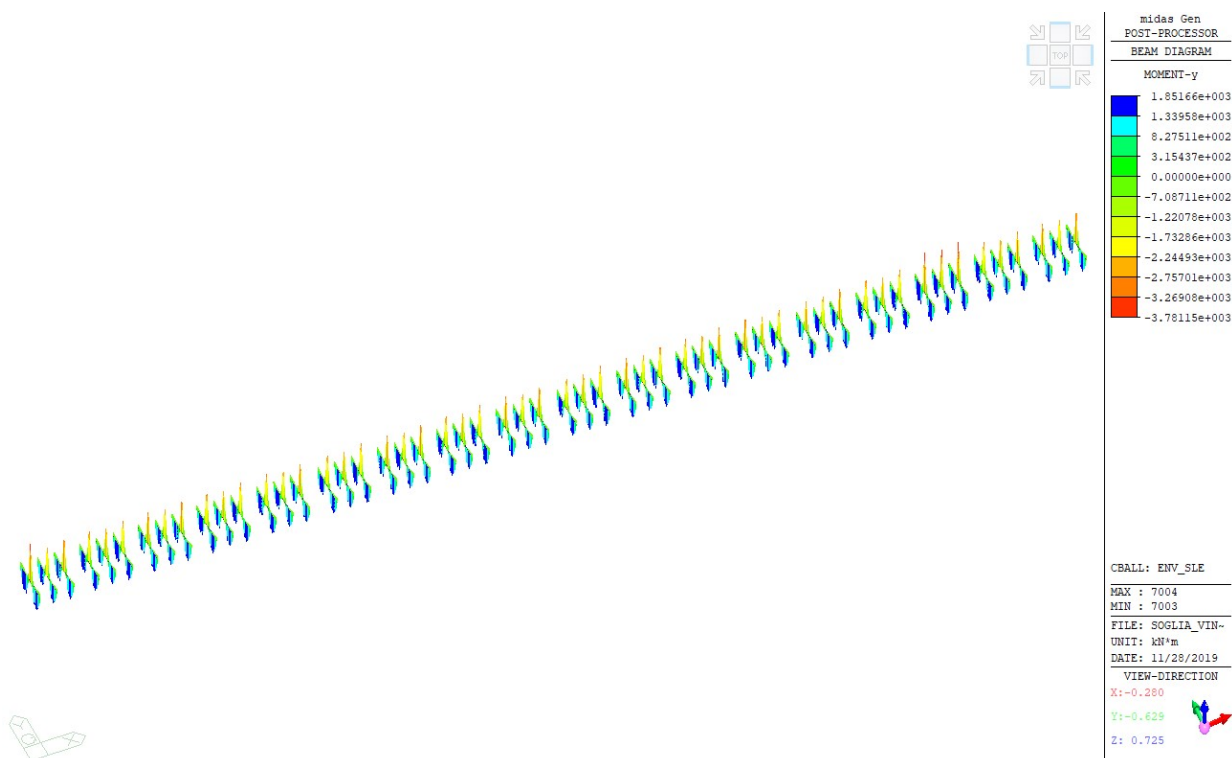



	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

11.1.1.18 V SLU

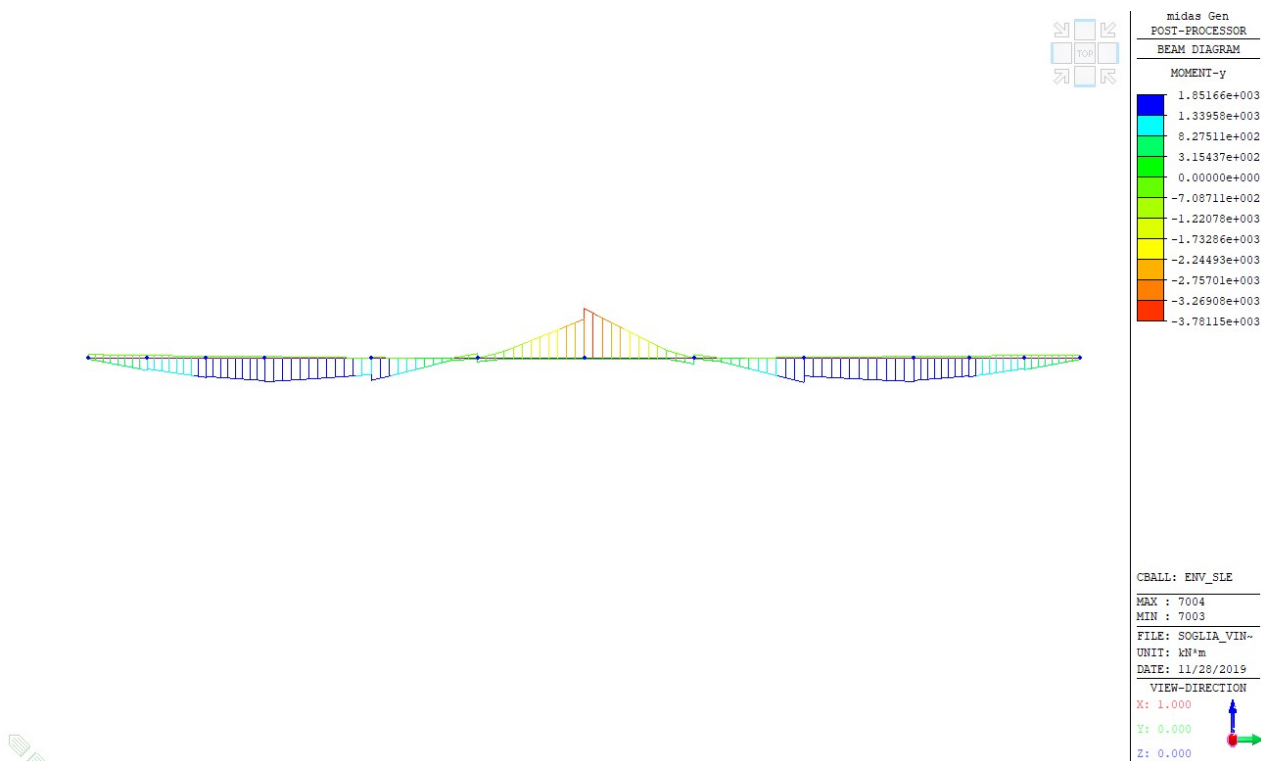


11.1.1.19 M SLEF

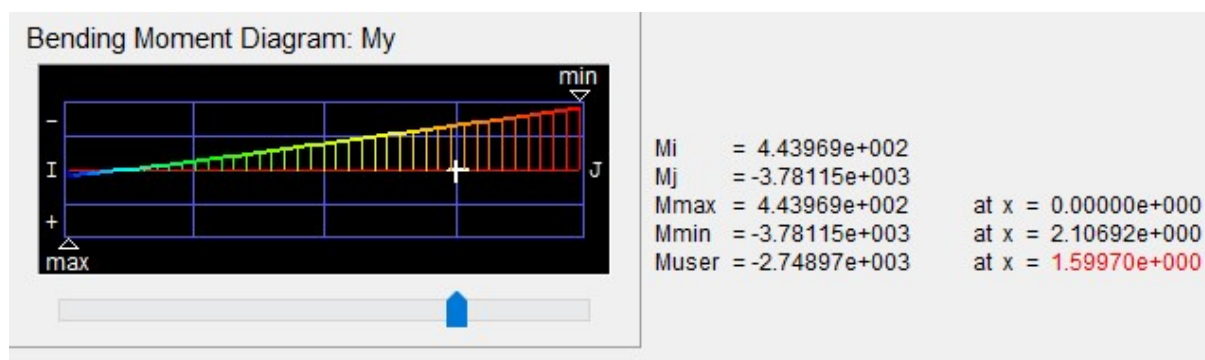


	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

Si esplicita la singola trave trasversale più caricata di tutto il graticcio.



A seguire, si riporta il valore del momento flettente SLEF nel trasverso, nella sezione in cui la trave si innesta alla trave principale di altezza complessiva 190 cm.




11.1.1.20 Momenti resistenti SLU e SLEF

A seguire una tabella riassuntiva delle resistenze strutturali per la trave trasversale.

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe: Resis. compr. di progetto fcd: Def.unit. max resistenza ec2: Def.unit. ultima ecu: Diagramma tensione-deformaz.: Modulo Elastico Normale Ec: Resis. media a trazione fctm: Coeff. Omogen. S.L.E.:	C28/35 15.860 MPa 0.0020 0.0035 Parabola-Rettangolo 32308.0 MPa 2.760 MPa 15.00
----------------	--	--

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

ACCIAIO -	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	168.00	daN/cm ²
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300	mm
	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di progetto fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di progetto fid:	391.30	MPa
	Deform. ultima di progetto Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	200000	daN/cm ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo β1*β2 :	1.00	
	Coeff. Aderenza differito β1*β2 :	0.50	

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale	
Classe Conglomerato:	C28/35	
N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	150.0
3	50.0	150.0
4	50.0	0.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-42.4	7.6	24
2	42.4	7.6	24
3	-42.4	142.4	24
4	42.4	142.4	24
5	-42.4	138.8	24
6	42.4	138.8	24
7	42.4	11.2	24
8	-42.4	11.2	24

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	2	4	24
2	3	4	8	24
3	1	3	5	12
4	2	4	5	12
5	5	6	5	24
6	7	8	4	24

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)				
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.				
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.				
Vy	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y				
Vx	Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x				
N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	-3900.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	2650.00	0.00	0.00	0.00

COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA


N	Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)		
Mx	Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione		
My	Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione		
N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	-2750.00 (-1378.11)	0.00 (0.00)
2	0.00	1852.00 (1330.43)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	6.4	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	1.2	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
 Mx Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 N Res Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
 Mx Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Res Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r,Mx Res,My Res) e (N,Mx,My)
 As Tesa Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
 Area armature trave [cm²] in zona tesa. [Tra parentesi l'area minima ex § 7.2.6 NTC]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	-3900.00	0.00	0.00	-4315.56	0.00	1.11	88.2(30.0)
2	S	0.00	2650.00	0.00	0.00	3163.87	0.00	1.19	65.6(30.0)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
 x/d Rapporto di duttilità [§ 4.1.2.1.2.1 NTC] deve essere < 0.45
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	x/d	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.108	-50.0	0.0	0.00177	-42.4	7.6	-0.02891	-42.4	142.4
2	0.00350	0.080	-50.0	150.0	0.00117	-42.4	142.4	-0.04015	-42.4	7.6

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
 x/d Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]; deve essere < 0.45
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000227577	0.003500000	0.108	0.700
2	0.000000000	0.000306565	-0.042484679	0.080	0.700

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE (NTC/EC2)

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure


N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.
1	S	7.85	50.0	0.0	-274.3	33.0	142.4	2400	76.9
2	S	5.57	-50.0	150.0	-253.6	25.4	7.6	2550	54.3

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE [§ 7.3.4 EC2]

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a f_{ctm}
 e1 Esito della verifica
 e2 Massima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 k1 Minima deformazione unitaria di trazione nel calcestruzzo (trazione -) valutata in sezione fessurata
 kt = 0.8 per barre ad aderenza migliorata [eq.(7.11)EC2]
 k2 = 0.4 per comb. quasi permanenti / = 0.6 per comb. frequenti [cfr. eq.(7.9)EC2]
 k3 = 0.5 per flessione; $=(e1 + e2)/(2 \cdot e1)$ per trazione eccentrica [eq.(7.13)EC2]
 k4 = 1.750 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 Ø = 0.425 Coeff. in eq.(7.11) come da annessi nazionali
 Cf Diametro [mm] equivalente delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff [eq.(7.11)EC2]
 e sm - e cm Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
 sr max Differenza tra le deformazioni medie di acciaio e calcestruzzo [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]
 wk Tra parentesi: valore minimo = 0.6 Smax / Es [(7.9)EC2 e (C4.1.8)NTC]
 Mx fess. Massima distanza tra le fessure [mm]
 My fess. Apertura fessure in mm calcolata = $sr \cdot max(e_{sm} - e_{cm})$ [(7.8)EC2 e (C4.1.7)NTC]. Valore limite tra parentesi
 Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
 Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	e1	e2	k2	Ø	Cf	e sm - e cm	sr max	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.00148	0	0.500	24.0	64	0.00106 (0.00082)	239	0.254 (0.30)	-1378.11	0.00
2	S	-0.00136	0	0.500	24.0	64	0.00083 (0.00076)	304	0.251 (0.30)	1330.43	0.00

Le verifiche risultano soddisfatte.


	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

11.1.1.21 Tagli resistenti SLU

VERIFICHE SLU PER SOLLECITAZIONI TAGLIANTI

Dati	Var	unità	TRASVERSI
Resistenza a compressione cubica caratteristica	Rck	Mpa	35
Resistenza a compressione cilindrica caratteristica	fck	Mpa	29
Coefficiente parziale γ_c	γ_c		1.50
Coefficiente parziale α_{cc}	α_{cc}		0.85
Resistenza a compressione di calcolo eccezionale	fcd	Mpa	16.5
Tensione caratteristica di snervamento acciaio di armatura	fyk	Mpa	450
tensione di calcolo acciaio	fywd	Mpa	391.3
Caratteristiche geometriche sezione			
Altezza	H	m	1.50
Larghezza	B	m	1.00
Area calcestruzzo	Ac	m^2	1.500
Larghezza anima	bw	m	1.00
copriferro	c	m	0.076
altezza utile della sezione	d	m	1.424
Compressione agente nella sezione			
Sforzo normale di calcolo	N _{Ed}	kN	0.0
Elementi senza armature trasversali resistenti al taglio			
Area dell'armatura longitudinale di trazione ancorata al di là dell'intersezione dell'asse dell'armatura con una eventuale fessura a 45° che si innesci nella sezione considerata	Asl	mmq	3164
Coefficiente k	k	m	1.37
vmin	vmin		0.30
rapporto geometrico di armatura longitudinale	ρ_1		0.00222
tensione media di compressione nella sezione	σ_{cp}	Mpa	0.00
Taglio agente singola greca	V	kN	
Resistenza a taglio	V_{Rd}	kN	437.40
			Si armatura a taglio
Elementi con armature trasversali resistenti al taglio			
<i>Verifica del conglomerato</i>			
Resistenza a taglio del conglomerato	V _{Rcd}	kN	7032
<i>Verifica dell'armatura trasversale</i>			
diametro staffe 1	fsw1	mm	14
passo staffe 1	scp1	m	0.15
numero di bracci 1	nb	-	3
Armatura a taglio (staffe) 1	Asw1	mmq	462
Inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave	α	deg	90
Inclinazione dei puntoni in cls rispetto all'asse della trave	θ	deg	21.8
tensione media di compressione nella sezione	σ_{cp}	kPa	0
coefficiente alpha	α_c		1.00
Resistenza a "taglio trazione"	V _{Rsd}	kN	3860.2
Resistenza a "taglio compressione"	V _{Rcd}	kN	3637.3
Taglio agente	V	kN	2920
Resistenza a taglio	V_{Rd}	kN	3637.3
FATTORE DI SICUREZZA			1.25

La verifica risulta soddisfatta.

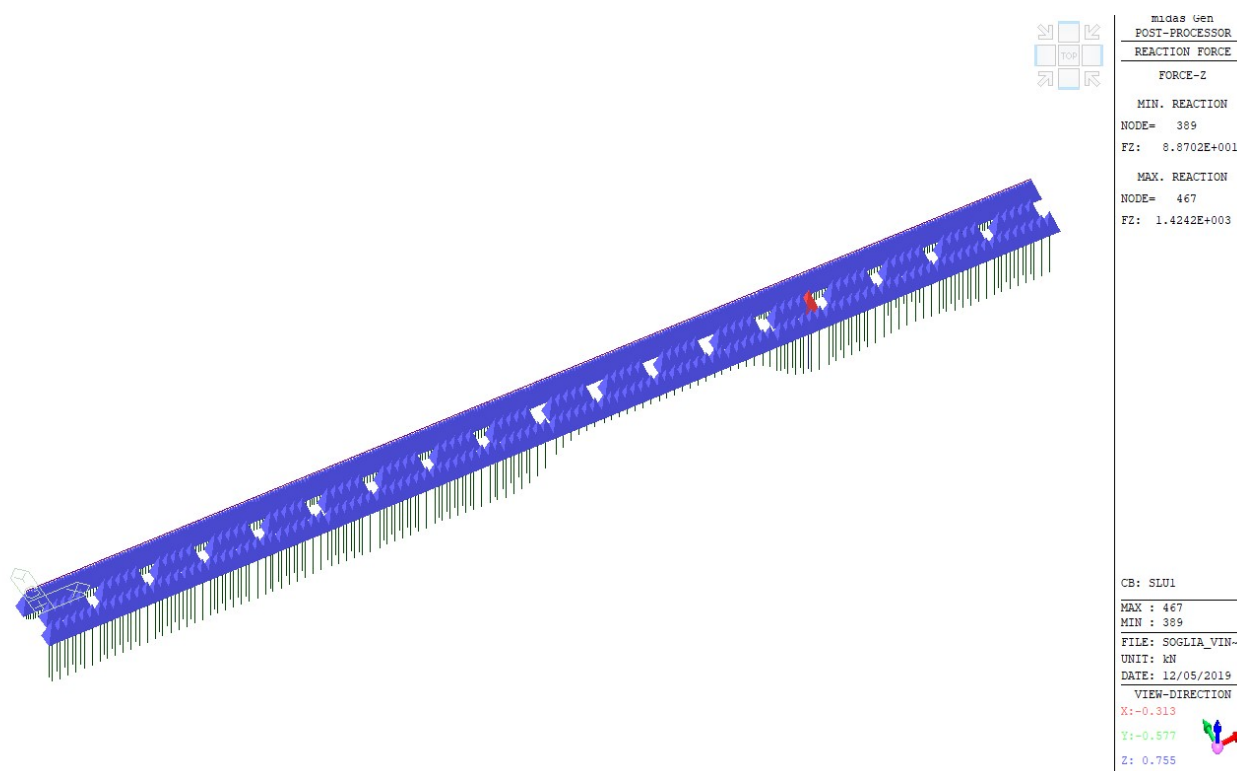
	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

12. VERIFICHE GEOTECNICHE PALI DI MEDIO DIAMETRO

Nel presente paragrafo si riporta la valutazione della capacità portante dei pali isolati di medio diametro DN600, di lunghezza 12.0 m.

Sollecitazioni assiali agenti sui pali


Nella figura seguente si riporta il massimo sforzo normale agente nei pali di medio diametro, nella configurazione con pali deformabili.



Il massimo sforzo normale ottenuto si trova in corrispondenza delle golene e risulta pari a:

NED = 1424 kN.





Il massimo sforzo agente, risulta inferiore a quello che si avrebbe nel caso di pali infinitamente rigidi e risulta compatibile con la capacità portante di seguito stimata.

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

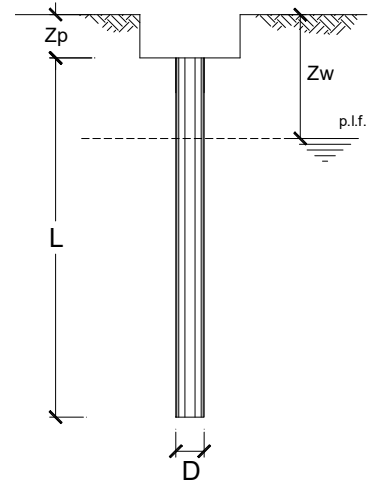
Stima della capacità portante verticale dei pali di medio diametro DN600

DATI DI INPUT:

Diametro del Palo (D):	0.60	(m)	Area del Palo (A _p):	0.283	(m ²)
Quota testa Palo dal p.c. (z _p):	5.00	(m)	Quota falda dal p.c. (z _w):	0.00	(m)
Carico Assiale Permanente (G):	1424	(kN)	Carico Assiale variabile (Q):		(kN)
Numero di strati	2		L _{palo} =	12.00	(m)

coefficienti parziali			azioni		resistenza laterale e di base		
Metodo di calcolo			permanenti γ _G	variabili γ _Q	γ _b	γ _s	γ _s traz
SLU	A1+M1+R1		1.30	1.50	1.00	1.00	1.00
	A2+M1+R2		1.00	1.30	1.70	1.45	1.60
	A1+M1+R3		1.30	1.50	1.35	1.15	1.25
	SISMA		1.00	1.00	1.35	1.15	1.25
DM88			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista			1.00	1.00	1.35	1.15	1.25

n	1	2	3	4	5	7	≥10	T.A.	prog.
ξ ₃	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00
ξ ₄	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00



PARAMETRI MEDI

Strato	Spess	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m ³)	c' med (kPa)	φ' med (°)	c _u med (kPa)
1	10.00		19.00	12.0	25.0	
2	2.00		19.00	0.0	36.0	

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
(-)	(-)	(-)	(-)
0.58	0.47		
0.41	0.73		


PARAMETRI MINIMI (solo per SLU)

Strato	Spess	Tipo di terreno	Parametri del terreno			
			γ (kN/m ³)	c' min (kPa)	φ' min (°)	c _u min (kPa)
1	10.00		19.00	8.0	23.0	
2	2.00		19.00	0.0	35.0	

Coefficienti di Calcolo			
k	μ	a	α
(-)	(-)	(-)	(-)
0.61	0.42		
0.43	0.70		

RISULTATI

Strato	Spess	Tipo di terreno	media					minima (solo SLU)				
			Q _{si} (kN)	N _q (-)	N _c (-)	q _b (kPa)	Q _{bm} (kN)	Q _{si} (kN)	N _q (-)	N _c (-)	q _b (kPa)	Q _{bm} (kN)
1	10.00		456.8					438.7				
2	2.00		162.6	66.11	0.00	10114.7	2859.9	162.1	54.72	0.00	8371.8	2367.1

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

CARICO ASSIALE AGENTE	CAPACITA' PORTANTE MEDIA	CAPACITA' PORTANTE MINIMA
$N_d = N_G \cdot \gamma_G + N_Q \cdot \gamma_Q$	base $R_{b,cal\ med} = 2859.9\ (kN)$	base $R_{b,cal\ min} = 2367.1\ (kN)$
$N_d = 1424.0\ (kN)$	laterale $R_{s,cal\ med} = 619.3\ (kN)$	laterale $R_{s,cal\ min} = 600.8\ (kN)$
	totale $R_{c,cal\ med} = 3479.2\ (kN)$	totale $R_{c,cal\ min} = 2967.9\ (kN)$
CAPACITA' PORTANTE CARATTERISTICA	CAPACITA' PORTANTE DI PROGETTO	
$R_{b,k} = \text{Min}(R_{b,cal\ med}/\xi_3 ; R_{b,cal\ min}/\xi_4) = 1766.5\ (kN)$	$R_{c,d} = R_{bk}/\gamma_b + R_{sk}/\gamma_s$	$F_s = R_{c,d} / N_d$
$R_{s,k} = \text{Min}(R_{s,cal\ med}/\xi_3 ; R_{s,cal\ min}/\xi_4) = 412.9\ (kN)$	$R_{c,d} = 1667.5\ (kN)$	$F_s = 1.17$
$R_{c,k} = R_{b,k} + R_{s,k} = 2179.4\ (kN)$		

La verifica risulta soddisfatta.

Momento resistente SLU pali di medio diametro DN600

Cautelativamente si trascura nel calcolo, lo sforzo normale agente e si ottiene un momento resistente pari a $M_{rd} = 206\ kNm$.

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe: Resis. compr. di progetto fcd: Def.unit. max resistenza ec2: Def.unit. ultima ecu: Diagramma tensione-deformaz.: Modulo Elastico Normale Ec: Resis. media a trazione fctm:	C25/30 14.160 MPa 0.0020 0.0035 Parabola-Rettangolo 31475.0 MPa 2.560 MPa
ACCIAIO -	Tipo: Resist. caratt. snervam. fyk: Resist. caratt. rottura ftk: Resist. snerv. di progetto fyd: Resist. ultima di progetto ftd: Deform. ultima di progetto Epu: Modulo Elastico Ef Diagramma tensione-deformaz.:	B450C 450.00 MPa 450.00 MPa 391.30 MPa 391.30 MPa 0.068 2000000 daN/cm ² Bilineare finito

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO


Forma del Dominio:	Circolare
Classe Conglomerato:	C25/30
Raggio circ.:	30.0 cm
X centro circ.:	0.0 cm
Y centro circ.:	0.0 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N° Gen. Xcentro Ycentro Raggio N° Barre Ø	Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza Diametro [mm] della singola barra generata				
N° Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N° Barre	Ø
1	0.0	0.0	23.4	12	16

CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Mx My Vy Vx	Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione) Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez. Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez. Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ. d'inerzia y Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ. d'inerzia x				
N° Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

1	1424.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali:	5.8	cm
Interferro netto minimo barre longitudinali:	10.5	cm

VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls. (positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls. (positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r. Mx Res, My Res) e (N, Mx, My)
As Totale	Verifica positiva se tale rapporto risulta >= 1.000
	Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N Res	Mx Res	My Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	1424.00	0.00	0.00	1423.71	358.35	0.00	999.00	24.1(8.5)
2	S	0.00	10.00	0.00	0.00	206.40	0.00	20.64	24.1(8.5)

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Xc max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
Yc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Xs min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Ys min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Xs max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Ys max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.0	30.0	0.00270	0.0	23.4	-0.00296	0.0	-23.4
2	0.00350	0.0	30.0	0.00179	0.0	23.4	-0.01037	0.0	-23.4

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette) [§ 4.1.2.1.2.1 NTC]; deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000120911	-0.000127320	----	----
2	0.000000000	0.000259760	-0.004292805		

Stima della capacità portante orizzontale dei pali di medio diametro DN600


Di seguito si calcolano il valore massimo del carico orizzontale tollerabile dal palo o dal terreno. Tali valori vengono calcolati secondo la [teoria di Broms](#), il quale stima tre possibili meccanismi di rottura per pali impediti di ruotare in testa ed immersi in terreni coerenti:

- Palo "corto";
- Palo "intermedio";
- Palo "lungo".

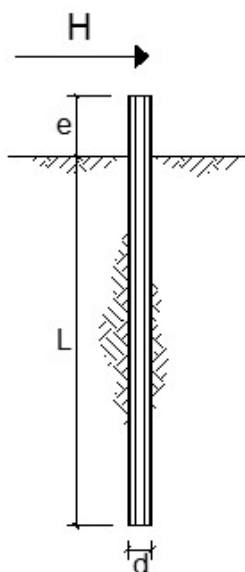
I valori minimi di resistenza ottenuti dai tre meccanismi rappresentano i valori limite per il palo di fondazione.

Le seguenti relazioni rappresentano il carico limite in tensioni efficaci di un palo libero di ruotare in testa.

Per la combinazione A1+M1+R3, si considerano i seguenti coefficienti di sicurezza.

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

$\gamma_T = 1.3$ $\xi_3 = 1.50$, $\xi_4 = 1.34$ (per cinque sondaggi).



Si considera il massimo taglio agente, derivante dalla combinazione SLU.

In particolare, l'azione tagliante orizzontale di calcolo stimata è di 4365 kN. Considerando che l'azione si ripartisca egualmente sui soli pali isolati, si ottiene su ciascuno:


$V_{Ed} = 35 \text{ kN}$

Di seguito i parametri del palo e del terreno.

Cautelativamente, si considera il palo immerso solo nello strato superiore di argilla.

DATI DI INPUT:

Lunghezza del palo	L =	12.00	(m)		
Diametro del palo	d =	0.60	(m)		
Altezza della forza dal p.c.	e =	0.00	(m)		
Momento di plasticizzazione della sezione	$M_y =$	260.00	(kN m)		
Angolo di attrito del terreno	$\varphi'_{med} =$	25.00	(°)	$\varphi'_{min} =$	23.00 (°)
Angolo di attrito di calcolo del terreno	$\varphi'_{med,d} =$	25.00	(°)	$\varphi'_{min,d} =$	23.00 (°)
Coeff. di spinta passiva ($k_p = (1 + \sin \varphi') / (1 - \sin \varphi')$)	$k_{p,med} =$	2.46	(-)	$k_{p,min} =$	2.28 (-)
Peso di unità di volume (con falda $\gamma = \gamma'$)	$\gamma =$	9.00	(kN/m ³)		
Carico Assiale Permanente (G):	G =	35	(kN)		
Carico Assiale variabile (Q):	Q =	0	(kN)		

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

Palo corto:

$$H1_{med} = 957.97 \quad (kN) \qquad H1_{min} = 887.48 \quad (kN)$$

Palo lungo:

$$H2_{med} = 144.85 \quad (kN) \qquad H2_{min} = 141.21 \quad (kN)$$

Calcola

$$H_{med} = 144.85 \quad (kN) \quad \text{palo lungo} \qquad H_{min} = 141.21 \quad (kN) \quad \text{palo lungo}$$

$$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4) = 96.57 \quad (kN)$$

$$H_d = H_k/\gamma_T = 74.28 \quad (kN)$$

$$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q = 35.00 \quad (kN)$$

$$FS = H_d / F_d = 2.12$$

Il palo sviluppa un meccanismo di collasso di palo lungo.

La verifica risulta soddisfatta.

Cedimenti dei pali di medio diametro DN600


Si stima il cedimento del palo di medio diametro, sotto i carichi di esercizio, al fine di stimare la rigidezza traslazionale delle molle da associare ai pali del modello con pali cedevoli.

CEDIMENTI DEL PALO SINGOLO

Dati	var	unità	
Diametro del fusto del palo	D	m	0.60
Diametro della base del palo	Db	m	0.60
Lunghezza del palo	L	m	12.0
Modulo elastico del palo	Ep	Mpa	30000

Modulo elastico del terreno lungo il fusto

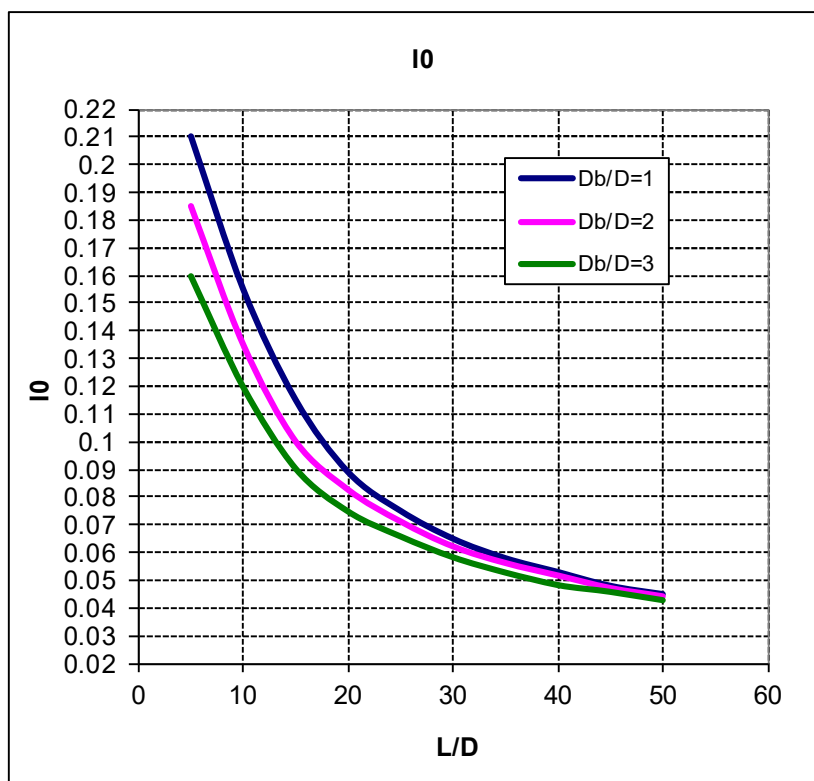
Strato n.	Da (m)	A (m)	sp. (m)	Esi (Mpa)	Esi x sp.	n	n x sp.
1	0.00	10.0	10.00	5	50	0.30	3
2	10.00	12.00	2.00	45	90	0.30	0.6


	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

Modulo elastico medio lungo il fusto	Es	Mpa	12
Modulo di Poisson	ns		0.30

Fattore di influenza I0

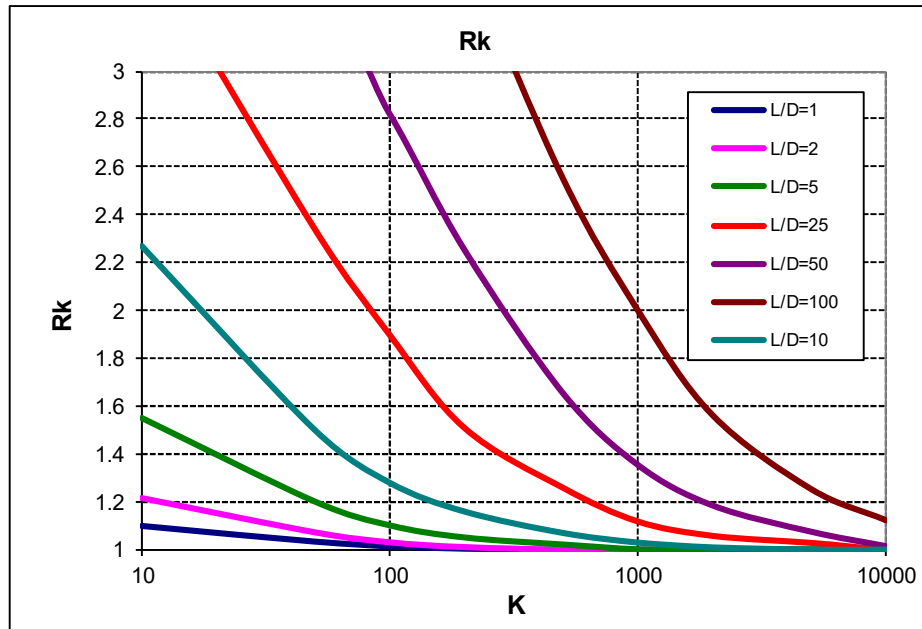
Rapporto Db/D	Db/D	1.0
Rapporto L/D	L/D	20.0
Fattore di influenza I0	I0	0.089



	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

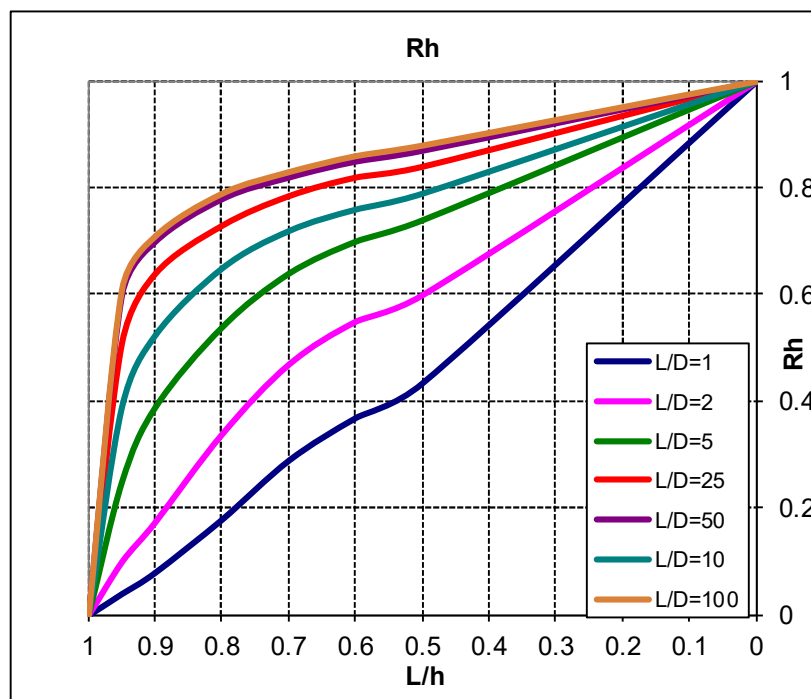
Fattore correttivo R_k (compressibilità del palo)


Rapporto L/D	L/D	20.0
Rapporto di rigidezza	K	2571
Fattore correttivo R_h		1.04



Fattore correttivo R_h

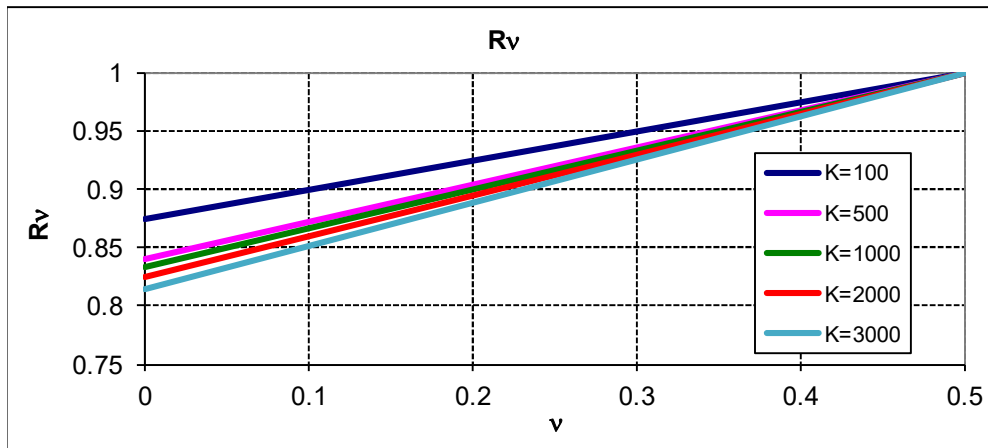
Rapporto L/h	L/h	0.0
Rapporto L/D	L/D	20.0
Fattore di influenza R_h	R_h	1.00



	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

Fattore correttivo R_v

Modulo di Poisson	n	0.30
Rapporto di rigidezza	K	2571
Fattore di influenza R_v	R_v	0.93




Fattore di influenza per palo sospeso: $I = I_0 \times R_k \times R_h \times R_v =$	0.085
---	--------------

Cedimenti del palo singolo	Combinazione	1
Carichi di esercizio	kN	1000
Cedimento del palo sospeso: $w_1 = Q \times I / (E_s \times D)$	mm	12.2

Tramite l'inversione del cedimento così stimato, si ottiene il valore della rigidezza traslazionale del sistema palo/terreno, che è stata applicata puntualmente ai pali del modello con pali cedevoli.

$K_{pali} = 82000 \text{ kNm}$.

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

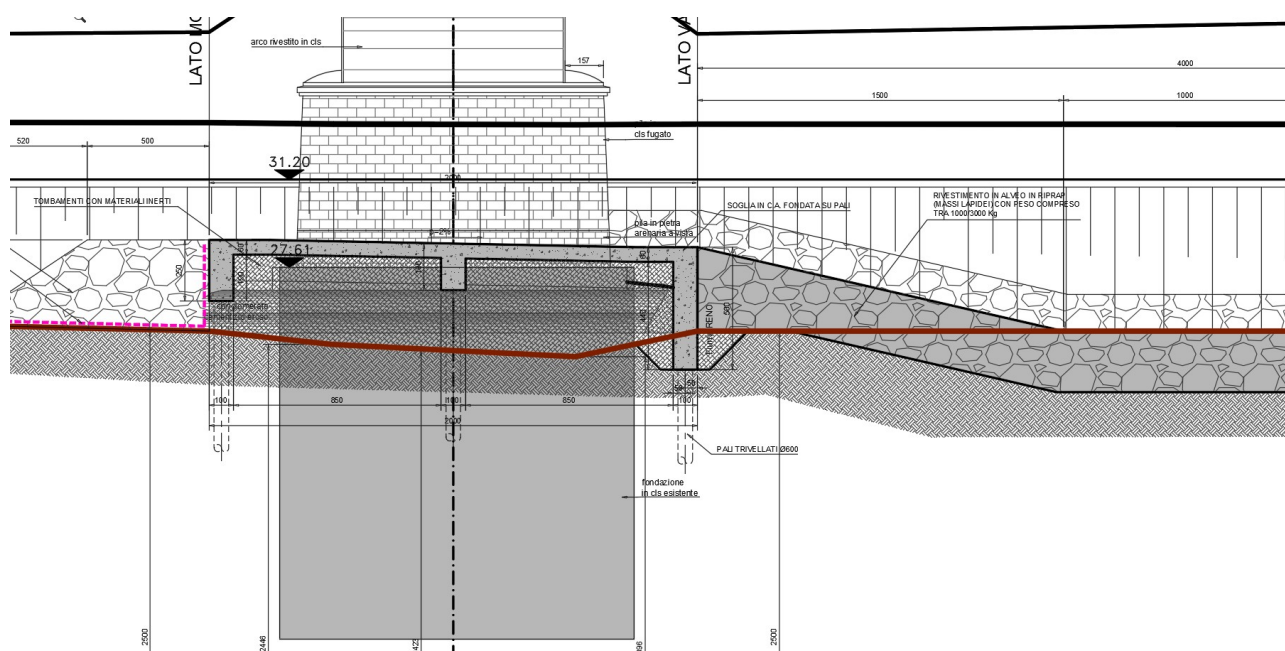
13. VERIFICA AL SIFONAMENTO

13.1 Metodi di analisi


L'analisi è stata effettuata attraverso l'impiego di un software di calcolo basato sulla teoria degli elementi finiti (FEM), che consente di calcolare il moto di filtrazione (in condizioni stazionarie) dell'acqua in un generico dominio di analisi, assegnata la geometria, parametri di natura idraulica dei materiali e le condizioni al contorno.

13.2 Domini di analisi e condizioni al contorno

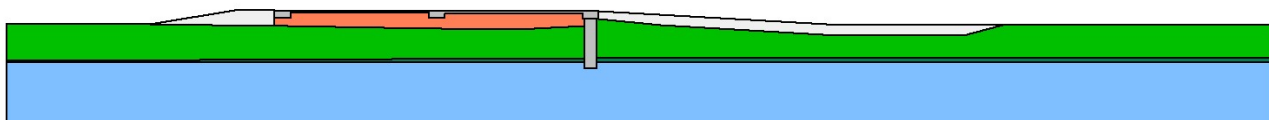
Il sistema è stato rappresentato grazie alla creazione di un dominio che raffigura una sezione trasversale rispetto all'asse del ponte. Il dominio rappresenta la soglia in calcestruzzo nelle reali dimensioni, considerando il taglione di valle realizzato mediante pali trivellati di diametro 800 mm secanti e massi lapidei a monte e valle a protezione della stessa dai fenomeni erosivi.



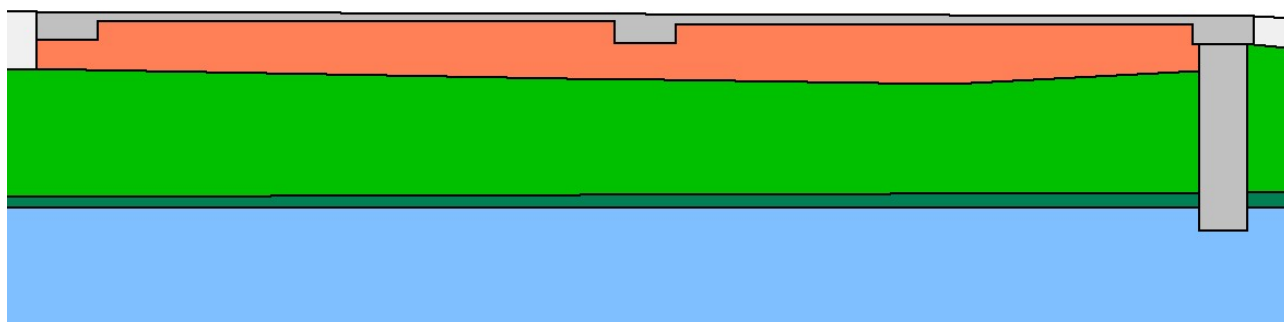
Soglia in calcestruzzo – post operam

	<p align="center"> Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO </p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

Nelle seguenti figure si riporta il modello di calcolo:



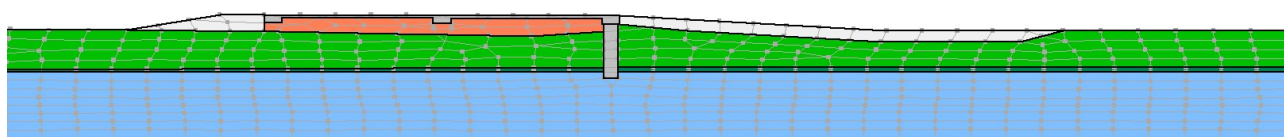
Modello di calcolo




Modello di calcolo – ingrandimento della soglia in calcestruzzo

Materials

- Argilla limosa e limo sabbioso
- Materiale inerte
- Massi
- calcestruzzo
- sabbia fine-sabbia limosa
- Ghiaia



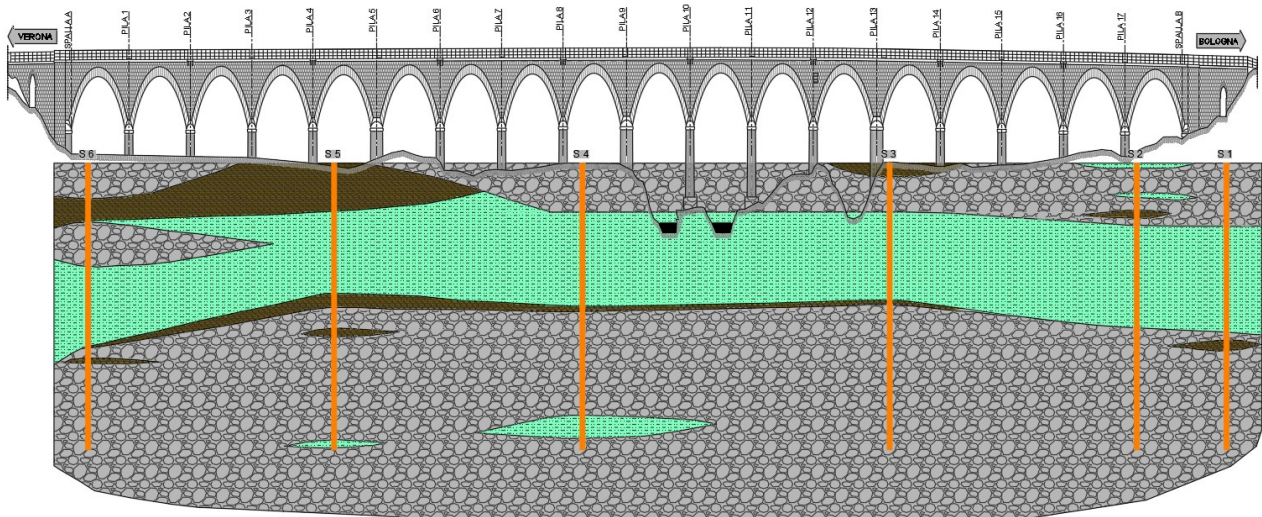
Mesh di calcolo

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

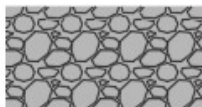
La stratigrafia è stata modellata considerando il profilo geologico riportato nel seguito:

Profilo geologico:

PROFILO GEOLOGICO
1:2000/500



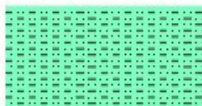
LEGENDA:



GHIAIA DA FINE A MEDIO-GROSSOLANA IN MATRICE LIMO SABBIOSA




SABBIA FINE / SABBIA LIMOSA



ARGILLA LIMOSA E LIMO SABBIOSO

Sono stati adottati i seguenti **parametri di permeabilità:**

<u>Materiali</u>	<u>Permeabilità - k (m/sec)</u>
Calcestruzzo	1.10^{-10}
Materiale inerte	1.10^{-1}

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

Massi lapidei	$1 \cdot 10^{-1}$
Argilla limosa e limo sabbioso	$1 \cdot 10^{-8}$
Sabbia fine/ sabbia limosa	$1 \cdot 10^{-6}$
Ghiaia da fine a medio-grossolana in matrice limo sabbiosa	$1 \cdot 10^{-2}$

Si sono impostate le seguenti **condizioni al contorno**:

Monte

Livello di monte si assume coincidente con l'estradosso della soglia in calcestruzzo: $h_{\text{tirante}} = 2.5$ m rispetto al fondo alveo

Valle

Livello di valle coincidente con il fondo alveo: $h_{\text{tirante}} = 0$ m

13.3 Risultati

La verifica al sifonamento viene eseguita in accordo al p.to 6.2.4.2 "Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi idraulici" delle NTC18, (nel seguito se ne riporta un estratto):

In condizioni di flusso prevalentemente verticale:

- a) nel caso di frontiera di efflusso libera, la verifica a sifonamento si esegue controllando che il gradiente idraulico i risulti non superiore al gradiente idraulico critico i_c diviso per un coefficiente parziale $\gamma_R = 3$, se si assume come effetto delle azioni il gradiente idraulico medio, e per un coefficiente parziale $\gamma_R = 2$ nel caso in cui si consideri il gradiente idraulico di efflusso;

Il gradiente *idraulico critico* i_c è dato dal seguente rapporto:

$$i_c = \frac{\gamma'}{\gamma_w} \quad \text{GRADIENTE IDRAULICO CRITICO}$$


I parametri utilizzati per il calcolo del gradiente idraulico critico sono:

γ terreno 19 kN/m³

γ acqua 10 kN/m³

$\gamma' =$ 9 kN/m³

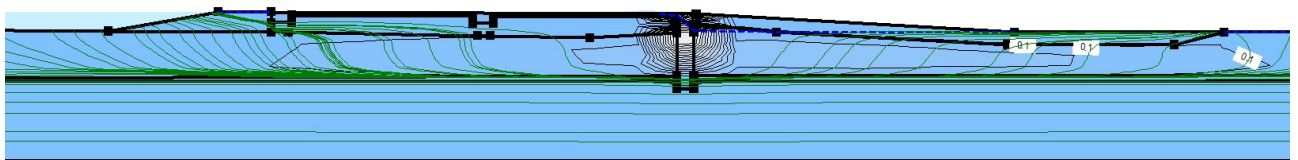
$i_c =$ 0.9

	<p align="center">Linea di Cintura di Bologna Ponte sul fiume Reno al Km 8+383 Messa in sicurezza con risagomatura, impermeabilizzazione e risanamento INTERVENTI DI RISAGOMATURA ALVEO E REALIZZAZIONE SOGLIA IN C.A. PROGETTO DEFINITIVO</p>	Redatto:
Oggetto:	Relazione di Calcolo Strutturale	AS

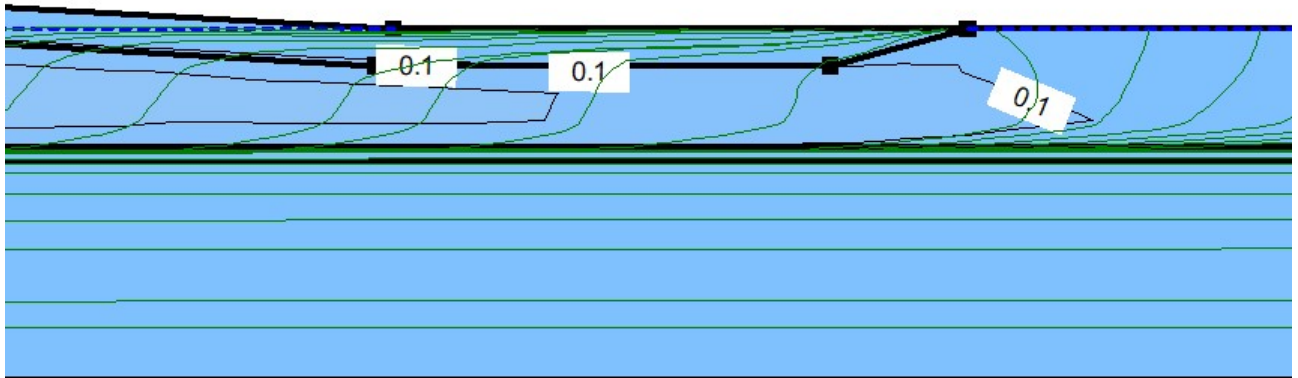
$\gamma_R =$ Coefficiente parziale
 3 NTC 18

 $i_c / \gamma_R =$ 0.3

Nel seguito si riportano i risultati della modellazione per la valutazione del gradiente idraulico al piede della soglia:



Risultati della modellazione – linee di flusso



Valore del gradiente idraulico i al piede della soglia

Quindi:

$$i = 0.1$$

$$i_c / \gamma_R = 0.3$$

$i < i_c / \gamma_R$ **Verifica al sifonamento soddisfatta**